



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Abrantes

Fresadora CNC Didática

Relatório do trabalho para a conclusão do Mestrado

Marcos Paulo Miranda

Mestrado em Engenharia Mecânica

Projeto e Produção Mecânica

(Projeto)

Abrantes/ Junho / 2016



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Abrantes

Marcos Paulo Miranda

Fresadora CNC Didática

Orientado por:

Bruno Chaparro

Escola Superior de Tecnologia de Abrantes

Relatório apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar e

Escola Superior Técnica de Abrantes

para cumprimento dos requisitos necessários

à conclusão do Mestrado Projeto e Produção Mecânica.

AGRADECIMENTOS

Ao Doutor Bruno Chaparro pela facilidade de acesso e disponibilidade para orientação e esclarecimento de dúvidas levantadas sobre o assunto aqui tratado.

Gostaria de agradecer ao Engenheiro Valentim Matias e ao Engenheiro Hugo Marques pelo companheirismo demonstrado ao longo deste anos.

E principalmente, agradecer à minha família, pelas horas as quais foram privadas da minha dedicação, por uma realização pessoal. Espero que o futuro revele os seus frutos.

A Deus que me tem dado forças para manter-me no foco, para alcançar meus objetivos.

RESUMO

Este Relatório refere-se ao projeto de uma fresadora didática proposta para a realização de trabalhos de fresagem de materiais não metálicos ou materiais de baixa resistência. As condicionantes iniciais subjugaram o projeto a uma máquina de construção simples, com materiais de baixo custo, durante a fase de elaboração realizou-se um aproveitamento de uma estrutura já existente, toda via, durante o processo foi bordada a utilização dos recursos modernos de controlo CNC para a elaboração de uma máquina ferramenta, assim como a aplicação dos recursos teóricos obtidos durante a formação no Mestrado de Projeto e Produção Mecânica. Os cálculos foram realizados a partir da potência dos motores fornecidos, caso pouco usual, em que, a partir do torque, realiza-se os cálculos para encontrar a força útil de maquinação. Em sequência será executada a construção, programação e teste do protótipo.

Palavras-chaves:

CNC, Fresadoras CNC didática, Cálculos de fuso.

ABSTRACT

This report refers to design of a didactic proposal milling machine for the realization of non-metallic materials, milling work or low strength materials. The initial conditions subjugated the project to a simple construction machine with low-cost materials for the preparation carried out a use of an existing structure, however, during the process was embroidered the use of modern control resources CNC for the development of a machine tool, as well as the application of theoretical resources obtained during the formation of the Project Master and Mechanical Production. The calculations were performed from the power of the motors provided if unusual in that, starting torque, the calculation is performed to find the useful power machining. Following in the construction will be executed, programming and prototype testing.

Keywords:

CNC, milling machines CNC teaching, spindle calculations.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
Índice de Figuras	vi
Lista de abreviatura e siglas;	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Aspetos Gerais	1
1.2 Objetivos.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Maquinação.....	2
2.2 Maquina ferramenta CNC.....	2
2.3 Fresadora CNC	3
2.4 Motores de Passo	5
2.4.1 Introdução.....	5
2.4.2 Princípio de funcionamento de um motor de passo.....	7
2.4.3 Tipos de motores de passo.....	9
2.4.3.1 Motor de Passo a íman permanente.....	9
2.4.3.2 Motor de passo a relutância variável.....	10
2.4.3.3 Motor de passo híbrido.....	11
2.4.4 Modos de acionamento	11
2.5 Controladores dos motores de passo (<i>Drivers</i>).....	15
2.5.1 Introdução.....	15
2.5.2 Tipos de controladores de motores de passo	16
2.5.2.1 Controladora Unipolar.....	16
2.5.2.2 Controladora Bipolar.....	16
3 DESENVOLVIMENTO.....	19

3.1	Condicionantes.....	19
3.2	Pesquisa de mercado	19
4	DESENHO CAD	22
4.1	<i>Soliworks</i>	22
4.2	<i>Conceção tridimensional em CAD.</i>	23
5	SOFTWARE DE CONTROLO	29
5.1	EDINGCNC	29
5.2	CNC Control <i>Software</i> eding.....	31
5.2.1	Recursos visuais	31
5.2.2	Menus de utilização	33
5.2.2.1	Menu principal	34
5.2.2.2	Menu do painel principal.....	34
5.2.2.3	Menu Zero	35
5.2.2.4	Auto Menu.....	35
5.3	CPU5B EdingCNC	37
6	MONTAGEN ELETRÓNICA	40
6.1	Fonte de alimentação	40
6.2	Controladores dos motores de passo.....	42
6.3	Motores de passo	44
6.4	Placa de adaptação dos fins de curso	45
6.5	Instalação do <i>Pendant (Handwheel)</i>	46
6.5.1	Circuito de Adaptação do Pendant	47
6.6	Relé	50
6.7	Botões PAUSE e RUN	51
6.8	Esquema de ligação eletroeletrónica.....	51
6.8.1	Software de desenhos elétricos QElectric Tech	52
7	ATUALIZAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i>	53

7.1	Instalação do <i>CPU5 Configurator Tool</i>	54
7.2	Instalação do arquivo de <i>firmware</i>	55
7.3	Comunicação com a CPU	56
8	CÁLCULOS	58
8.1	Torque	58
8.2	Inércia	71
8.3	Aceleração	72
8.4	Força útil em X	74
8.5	Força útil em Y	79
8.6	Força útil em Z.....	80
8.7	Cálculos de potência	83
9	RECUPERAÇÃO DA FREZADORA (<i>DOWNGRADE</i>)	87
9.1	Recuperação dos fusos.....	87
9.2	Substituição dos motores	88
10	CONCIGURAÇÃO E VERIFICAÇÃO.....	89
10.1	1ª Pagina de configuração	90
10.2	2ª Página de configuração	91
11	Observações finais.....	Erro! Marcador não definido.
12	Referências	94
	ANEXOS.....	96

Índice de Figuras

Figura 2.3.1 - Principais elementos de máquinas da fresadora.	3
Figura 2.3.2 – Fresadora CNC moderna, fonte: http://www.equimach.com/maquinas-novas/fresadoras-cnc , Acesso em 09/02/16.....	4
Figura 2.4.1 – Curvas Binário vs Velocidade pull-in e pull-out [4].....	6
Figura 2.4.2 – Motor de passo vista explodida [11]	6
Figura 2.4.3 – Fluxo magnético de um material magnetizado.	7
Figura 2.4.4 – Princípio de rotação do eixo. a) Os pólos magnéticos da bobina são atraídos pelos pólos dos ímãs; b) A bobina gira para aproximar os pólos opostos; c) Quando se aproxima da posição desejada, inverte-se o sentido da corrente; d) Os pólos, agora, repelem-se e continuar a impulsionar o eixo. [12]	8
Figura 2.4.5 – Funcionamento do motor de passo: a) O rotor é atraído por um par de pólos do estator; b) Desliga-se os pólos anteriores e novos pólos ligados. [12]	9
Figura 2.4.6 – Motor de passo a ímã permanente. [5]	10
Figura 2.4.7 – Corte de um motor de passo a relutância variável. [5]	10
Figura 2.4.8 – Motor de passo híbrido. [3]	11
Figura 2.4.9 - Motor híbrido com 12 passos por revolução. [5]	11
Figura 2.4.10 – Passo completo, uma fase ligada. [5]	12
Figura 2.4.11 – Passo completo, duas fase ligadas simultaneamente. [5]	13
Figura 2.4.12 – Meio passo. [5]	13
Figura 2.4.13 – Correntes de fase no modo micro passo. [5]	14
Figura 2.5.1 – Elementos de um controlador de motor de passo. [5]	15
Figura 2.5.2 – Controle unipolar básico. [5]	16
Figura 2.5.3 Circuito de um <i>driver</i> bipolar. [5]	17
Figura 2.5.4 <i>Driver Chopper</i> com recirculação. [5]	17
Figura 3.2.1 – Fresadora EasyWorker Master 1882 [6].	20
Figura 3.2.2 – Fresadora AKYAPAK APD 2500x3000 [7]	21
Figura 3.2.3 – Fresados CHAPEOKO DIY CNC [10]	21
Figura 3.2.4 – Fresadora CNC em perfil de alumínio – fonte http://www.clasf.com.br/ . Acesso em 05/02/16.	22
Figura 4.2.1 – Carro HGH15 HIWIN	23

Figura 4.2.2 – Guia HGR R HIWIN.....	23
Figura 4.2.3 – Perfil 45x45 em alumínio.....	24
Figura 4.2.4 - Medidas do perfil de alumínio.	24
Figura 4.2.5 – Disposição dos eixos de movimentação.....	24
Figura 4.2.6 – Estrutura superior da fresadora.	25
Figura 4.2.7 – Chapa de suporte do motor do eixo X.....	25
Figura 4.2.8 – Cabeça da fresadora, deslocamento em Z.	26
Figura 4.2.9 – Estrutura lateral – Movimento em Y.....	27
Figura 4.2.10 – Motor de movimento do eixo Y.....	27
Figura 4.2.11 – Desenho em CAD, aspeto final.....	28
Figura 5.1.1 – Esquema de ligações do sistema EDINGCNC.	30
Figura 5.1.2 – Esquema de conexão dos componentes de um sistema CNC.	30
Figura 5.2.1 – Interface principal do programa CNC control 4.02.	31
Figura 5.2.2 – Botões do lado esquerdo do painel principal.	32
Figura 5.2.3 – Botões de funções, parte inferior do painel principal.	32
Figura 5.2.4 – Coordenadas de deslocamento dos eixos.	33
Figura 5.2.5 – Botões do menu principal.	34
Figura 5.2.6 – Menu do painel principal.	34
Figura 5.2.7 - Menu Zero	35
Figura 5.2.8 – Auto Menu	35
Figura 5.3.1 – Placa de controlo CPU5B EdingCNC [9].....	37
Figura 5.3.2 – Imagem esquemática da disposição das conexões da placa CPU5B EdingCNC [9].	39
Figura 6.1.1 – Fonte de alimentação Mean Weel.....	41
Figura 6.2.1 – Controlador de motor de passo Wantai.....	42
Figura 6.2.2 – Circuito controlador de motor de passo realizado no <i>Software</i> Proteus.	43
Figura 6.3.1 – Motor de Passo Wantai.	44
Figura 6.4.1 – Placa de adaptação dos sensores de fim de curso.	45
Figura 6.4.2 – Placa dos sensores de fim de curso desenhada em <i>SolidWorks</i>	45
Figura 6.4.3 – Placa de adaptação dos sensores de fim de curso, Layout.	46
Figura 6.5.1 – <i>Pendant</i> modelo ISMM1468.....	46
Figura 6.5.2 – Esquema de ligação do <i>Pendant</i> ISMM1468.....	47
Figura 6.5.3 – Esquema de ligação virtual do <i>Pendant</i> , Proteus 8.0.....	48

Figura 6.5.4 – Montagem real em <i>Bread Board</i> .	49
Figura 6.5.5 – Placa do circuito do <i>pendant</i> limpa.	49
Figura 6.5.6 – Furação da placa do circuito de adaptação do <i>pendant</i> .	50
Figura 6.5.7 – Placa de adaptação do <i>pendant</i> montada.	50
Figura 6.6.1 – Relé 5V	50
Figura 6.8.1 – Esquema ilustrativo de ligação dos componentes de uma fresadora CNC [9].	51
Figura 6.8.2 – Interface do QElectric Tech.	53
Figura 7.1.1 – Interface do Configurator tool [18].	54
Figura 7.1.2 – Identificação do <i>firmware</i> da placa [18].	54
Figura 7.2.1 – Busca do arquivo de <i>firmware</i> [18].	55
Figura 7.2.2 – Finalização do processo de instalação do <i>firmware</i> [18].	55
Figura 7.2.3 – Configuração da ligação Ethernet [18].	56
Figura 7.3.1 – Configuração do protocolo de ligação [18].	56
Figura 7.3.2 – Configuração do número do IP da porta de comunicação [18].	57
Figura 7.3.3 – Prompt de comando do Windows [18].	57
Figura 8.1.1 – Ilustração esquemática das forças aplicadas a um fuso [10].	58
Figura 8.1.2 – Consideração do ângulo de inclinação da rosca trapezoidal.	61
Figura 8.1.3 – Diagrama de forças que atuam num parafuso de potência com rosca quadrada para movimento horizontal [17]	64
Figura 8.2.1 – Esquema Motor carga	71
Figura 8.3.1 – Gráfico do movimento com perfil trapezoidal. [5]	72
Figura 8.4.1 – Gráfico Força vs Tempo de aceleração eixo X.	77
Figura 8.5.1 – Gráfico Força vs Tempo de aceleração eixo Y.	80
Figura 8.6.1 – Efeito da gravidade no eixo Z	80
Figura 8.6.2 – Gráfico Força vs Tempo de aceleração eixo Z.	82
Figura 8.7.1 – Fresadora CNC Colimbus modelo CPR-30 PCB/HF, fonte http://alphaimager.tradeindia.com , acesso em 05/07/16.	87
Figura 9.1.1 – Fuso do eixo Z montado.	88
Figura 9.2.2 – Motor Wantai montado no eixo X.	88
Figura 10.1.1 – Página de configuração (<i>setup</i>), EdingCNC.	90
Figura 10.2.1 – 2ª página de configuração (<i>setup</i>), EdingCNC.	91

Tabela 6.1.1 – Características técnicas da fonte.....	41
Tabela 6.2.1 – Especificações elétricas do controlador Wantai	43
Tabela 6.3.1 – Dados técnicos Motor Wantai.	44
Tabela 6.5.1 – Valores de tensão para seleção dos eixos e das velocidades	48
Tabela 8.4.1 – Valores considerados para os cálculos do eixo X.....	74
Tabela 8.5.1 – Valores considerados para os cálculos do eixo Y.....	79
Tabela 8.6.1 – Valores considerados para os cálculos do eixo Z.	81
Tabela 9.2.1 – Número de passos por milímetro para cada configuração do controlador ..	89

Lista de abreviatura e siglas;

CAD *Computer Aided Design*, Desenho Auxiliado por Computador.

CAM *Computer Aided Manufacturing*, Fabrico Auxiliado por Computador.

CNC *Computer Numeric Control*, Comando Numérico Computadorizado.

CPU *Central Processing Unit*, Unidade Central de Processamento.

PC *Personal Computer*, Computador Pessoal.

UI *User Interface*, Interface do Utilizador

USB *Universal Serial Bus*, conexão de periféricos para PC.

A Passo

ac Aceleração

ap Aceleração no perímetro

D Diâmetro

dm Diâmetro médio

g	Gravidade
I_c	Inércia do Fuso
L	Comprimento do Fuso
m	Força gerada, força útil
m_e	Força perdida na estrutura
m_f	Força perdida no fuso
m_t	Força tangencial
M_t	Torque do motor
$m_{\text{útil}}$	Força útil
n	Rotações
p	Peso
P	Potência
P_s	Potência de saída
R	Peso em gravidade
S	Subdivisão de passos no controlador
$\sec \alpha$	Secante para rosca trapezoidal
Sm	Número de passos por milímetro
t	Tempo

T_f Torque do fuso

v_{max} Velocidade máxima

v_{maxp} velocidade máxima no perímetro

α Ângulo de rosca

ε Eficiência do fuso

μ Atrito do fuso

μ_c Atrito da guia

π Pi

1 INTRODUÇÃO

1.1 Aspetos Gerais

O processo de fabrico foi até a década de 50 dominado pela competência e habilidade individual dos intervenientes. Consequentemente, com o nascimento do “Comando Numérico” no processo de automação, uma nova abordagem no fabrico permite uma maior independência das máquinas relativamente aos seus operadores. Vários processos de produção passaram a ser controlados por meios informáticos permitindo uma maior eficiência, diminuindo custos de produção e atendendo melhor as exigências do mercado.

Essa revolução começou nos processos de maquinação onde a deslocação da ferramenta, que sendo controlada manualmente, passou a ser controlada por comandos numéricos introduzidos por um operador. Posteriormente, com a integração do comando numérico com um núcleo de processamento e interface gráfica, passou a ser possível ligar diretamente o projetista ao processo de fabrico permitindo intervenções e alterações de acordo com as necessidades.

Atualmente é impossível imaginar o processo de fabrico sem considerar a tecnologia CNC (Comando Numérico Computacional). A integração entre as tecnologias CAD (*Computer Aided Design*), CAM (*Computer Aided Manufacturing*) e CNC é cada dia mais forte, contribuindo no desenvolvimento de Máquina de ferramentas totalmente automatizadas.

1.2 Objetivos

Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de uma fresadora CNC para fins didáticos, com elevada simplicidade de construção e com a mínima aplicação de partes maquinadas, aproveitando materiais leves como acrílico e alumínio, para a realização de trabalhos pouco exigentes de fresagem.

Outro objetivo é a consolidação dos conhecimentos obtidos durante as formações teóricas numa aplicação prática que permita a abordagem dos três pontos contudentes em projetos de máquinas: Tecnologia de controlo, Estrutura mecânica e Interface de operação. Também foi considerada a facilidade de manuseio e manutenção da fresadora CNC.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo propõe a uma breve descrição de alguns conceitos aplicados às máquinas ferramenta, analisando e destacando estes conceitos nas diversas máquinas já desenvolvidas comercialmente. Conceitos tais como comando numérico, fresadoras, maquinação, *software* de controlo e etc.

2.1 Maquinação

A definição de maquinação pode ser descrita, segundo [1], “como operação que ao conferir à peça forma, as dimensões, o acabamento ou ainda a combinação de qualquer destes itens, produzem cavacos. E por cavaco entende-se: Porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar uma forma geométrica irregular”.

Ainda segundo [1], “a maquinação é reconhecidamente o processo de fabricação mais popular do mundo, transformando em cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais, e empregando dezenas de milhões de pessoas no mundo”.

Durante vários anos a maquinação foi um processo de fabricação manual, visto que a intervenção do homem junto à máquina era constante e os resultados dos produtos maquinados dependiam inteiramente da habilidade de um profissional. Os resultados de peças maquinadas foram otimizados a partir da introdução de um controle de máquina automático, diminuindo o fator habilidade manual na qualidade das peças fabricadas.

Diversas máquinas foram desenvolvidas para maquinação de peças, entre as mais conhecidas e utilizadas encontram-se os tornos, fresadoras, plainas, furadeiras e retificadoras. Este conjunto de máquinas é capaz de maquinar grande parte das peças desejadas atualmente com menor ou maior grau de complexidade geométrica.

2.2 Máquina ferramenta CNC

A máquina ferramenta é um tipo de máquina cujo propósito é a fabricação de peças de diversos materiais por meio de movimentos mecânicos de ferramentas cortantes, ou seja, ferramentas com geometria e dureza capaz de subtrair massa de materiais como aço, alumínio, plástico e etc.

Segundo [2], “uma máquina ferramenta com Comando Numérico Computadorizado – CNC é uma máquina que realiza a sequência do seu trabalho mediante recurso

programado, baseado em Comando Numérico, que são sistemas de coordenadas cartesianas para elaboração de qualquer perfil geométrico (x, y e z) ”.

Em consequência dessas características, desenvolve-se uma máquina com grande precisão, poder de repetibilidade e o mínimo de intervenção humana para execução de um trabalho.

2.3 Fresadora CNC

Fresadora é uma máquina ferramenta. Ela, juntamente com o torno, é capaz de transformar um material bruto em qualquer peça com alguma complexidade geométrica. Conforme a Figura 2.3.1, uma fresadora é basicamente formada por um motor de alta velocidade, um mandril e uma ferramenta de corte encaixada no mandril. A rotação do motor gera um movimento rotacional na ferramenta de corte, também chamada de fresa, que retira material de um tarugo. O material bruto é deslocado linearmente quando fixado a uma mesa base. A combinação da rotação da fresa e o movimento linear da mesa resulta na subtração de material do tarugo.

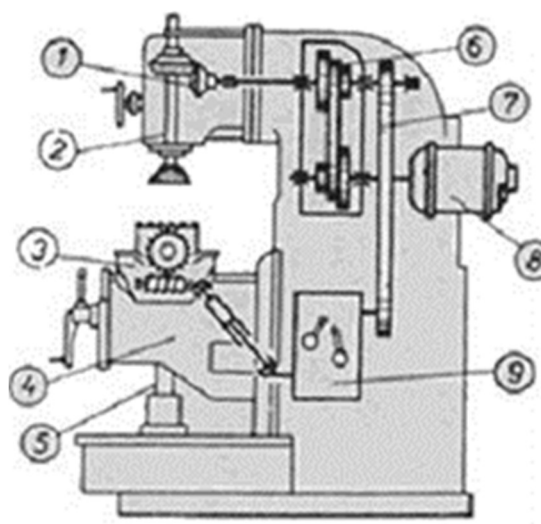


Figura 2.3.1 - Principais elementos de máquinas da fresadora.

As numerações da Figura 2.3.1 mostram os principais elementos mecânicos de uma fresadora convencional.

1. Representa o ataque do eixo principal por engrenagens cônicas.
2. Eixo principal, no qual se fixa o mandril e a fresa.
3. Mecanismo de avanço da mesa.
4. Mísula.
5. Fuso de translação da mesa.
6. Cone de roldanas.
7. Corrente de transmissão para os avanços.
8. Motor.
9. Caixa de câmbio para avanços.

Com o controle dos movimentos lineares por meio da eletrônica e da computação, pode-se automatizar uma fresadora convencional e aplicar os conceitos de Comando Numérico Computadorizado. Se uma fresadora tem seu controle por meio do Comando Numérico Computadorizado, a máquina tem o nome de Fresadora CNC. Segundo [2], “a máquina ferramenta possui a característica de poder salvar e carregar os programas NC (*numeric control*) mediante interface de comunicação, tais como: cartões de memória, cabo RS 232, e rede Ethernet”.

As fresadoras modernas são multifuncionais e a tendência é a aplicação de vários eixos CNC, Figura 2.3.2, estas máquinas possuem várias funcionalidades e permitem o fabrico de peças extremamente complexas em que a intervenção humana é mínima ou desnecessária.



Figura 2.3.2 – Fresadora CNC moderna, fonte: <http://www.equimach.com/maquinas-novas/fresadoras-cnc>, Acesso em 09/02/16

2.4 Motores de Passo

Os motores de passo são vastamente usados nas máquinas CNC, porém é possível utilizar servomotores. A principal vantagem no uso de motores de passo nesse tipo de projeto é o fato do motor trabalhar em malha aberta, visto que facilita o controle do motor. Portanto, fica a cargo deste tópico detalhar o funcionamento de um motor de passo.

2.4.1 Introdução

Os motores de passo também conhecidos do Inglês como *Stepper Motor* são motores síncronos. Estes têm como vantagem relativamente aos motores DC permitirem um controlo preciso sobre a sua posição angular através de impulsos de relógio e mantê-la sem a necessidade de *encoders* e controladores exageradamente dispendiosos (permitem o controlo em "*Open Loop*"). Os motores de passo são fabricados com diferentes números de passos por volta (número de impulsos de relógio necessários para completar uma rotação de 360°), existem por exemplo motores com 48 steps/volta ou dito doutra forma 7.5° por step. Valores de 7.5, 1.8 ou 0.9°/step são comuns. Quanto mais passos tiver por volta maior será a precisão do motor. No entanto e dependendo da aplicação é necessário um compromisso entre o número de passos e a velocidade pretendida uma vez que os motores de passo perdem binário quanto mais rápido rodarem (maior número de steps por segundo). Na Figura 2.4.1 pode ver-se as curvas típicas de binário vs steps/segundo destes motores.

- A curva *pull-in* mostra o binário disponível no motor disponível no modo paragem/arranque sem que haja perda de passos
- A curva *pull-out* mostra o binário disponível quando o motor é acelerado lentamente até a velocidade até a velocidade final. Este é o binário dinâmico total produzido pelo motor.

A diferença entre *pull-in* e *pull-out* é o binário necessário para vencer a inércia do rotor do motor e do sistema mecânico nele aplicado, conforme a Figura 2.4.1.

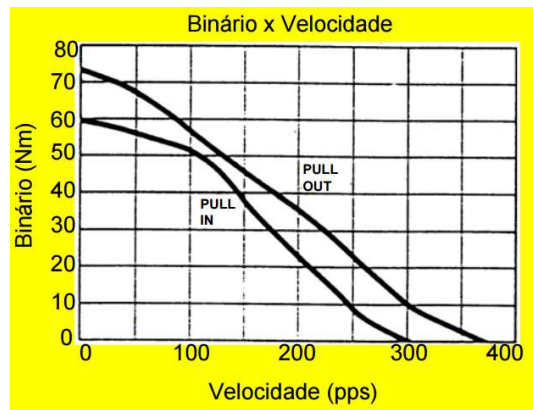


Figura 2.4.1 – Curvas Binário vs Velocidade pull-in e pull-out [4].

Segundo [3], “um motor de passo é um transdutor de características eletromecânicas que permite a conversão de energia e de informação em movimento. Sua alimentação é elétrica digital, ou por impulsos, e seu movimento rotacional é incremental”. Para [4], “o motor de passo é um dispositivo muito usado em robótica para a movimentação de robôs e de outros dispositivos mecatrônicos”. O motor de passo se caracteriza pela capacidade de gerar força e velocidade através de sinais elétricos adicionados em suas bobinas. A Figura 2.4.2 mostra um motor de passo.

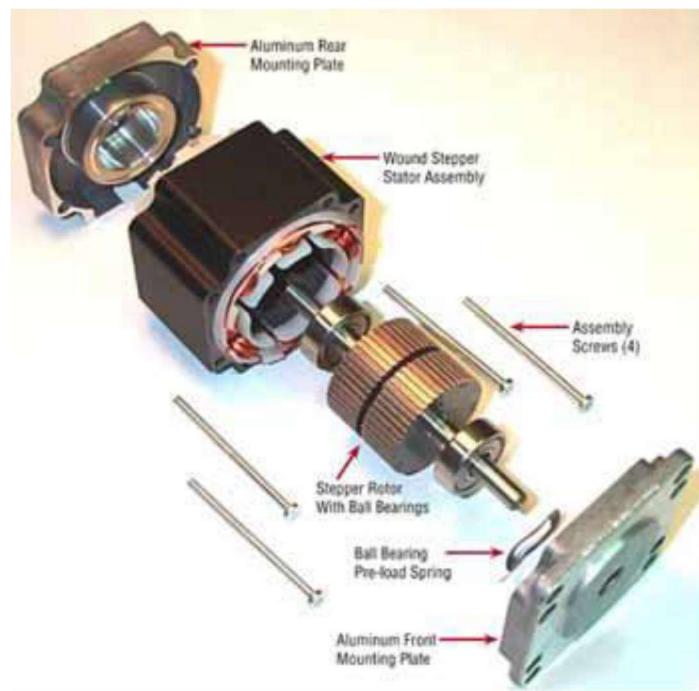


Figura 2.4.2 – Motor de passo vista explodida [11]

A fim de fornecer uma fina conversão da informação, o motor de passo deve possuir características síncronas, isto é, a todo impulso na alimentação deve corresponder um avanço elementar, constante, dito passo. A sucessão de impulsos a uma determinada frequência, permite impor uma velocidade de movimento praticamente constante. Em função destas características o motor de passo assegura um controle de posição e velocidade sem a introdução de erros acumulativos e isto, somado à simplicidade, precisão e durabilidade, faz com que ele seja largamente utilizado em aplicações como:

- Impressoras;
- Posicionadores XYZ;
- Registradores;
- Posicionadores de antenas;
- Braços articulados;
- Microscópios;
- Sistemas de foco e auto foco.

2.4.2 Princípio de funcionamento de um motor de passo

O princípio de funcionamento de um motor elétrico é explicado pelos fenômenos do magnetismo. Os conceitos de atração e repulsão entre pólos magnéticos e a ação dos campos magnéticos sobre as correntes elétricas formam a base para compreender em profundidade o funcionamento de qualquer tipo de motor elétrico. A Figura 2.4.3 mostra um conceito básico sobre íman. Em um material permanentemente magnetizado, o fluxo magnético sai do pólo norte e vai para o pólo sul.

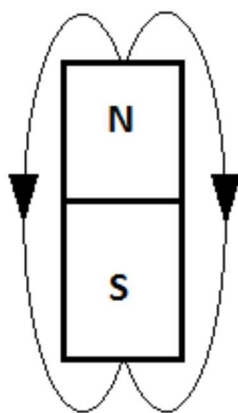


Figura 2.4.3 – Fluxo magnético de um material magnetizado.

Segundo [3], “esta propriedade bipolar pode ser induzida pela corrente I através de uma bobina, cujos enrolamentos envolvem uma barra de material ferromagnético” A inversão da polaridade é concretizada por meio da simples inversão do sentido da corrente. Aproximando ainda mais os conceitos já mostrados com um motor real, pode-se considerar um eixo (rotor), uma carcaça (estator) e suas interações. A Figura 2.4.4 apresenta o movimento do rotor por meio das forças magnéticas desenvolvidas entre os pólos magnéticos do rotor e do estator.

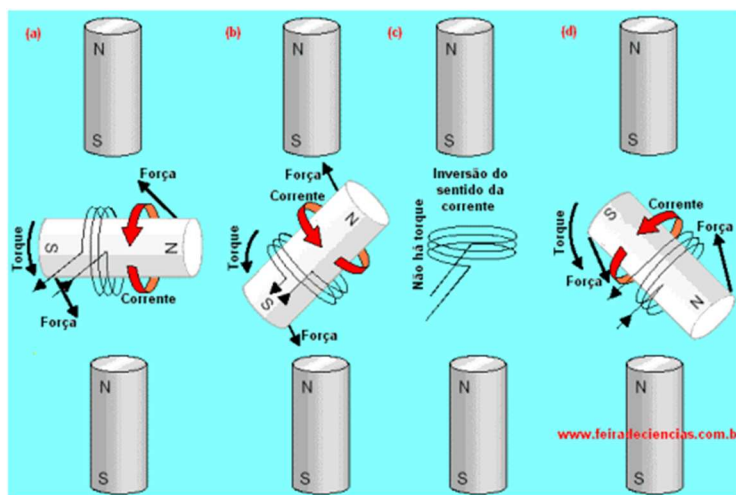


Figura 2.4.4 – Princípio de rotação do eixo. a) Os pólos magnéticos da bobina são atraídos pelos pólos dos ímãs; b) A bobina gira para aproximar os pólos opostos; c) Quando se aproxima da posição desejada, inverte-se o sentido da corrente; d) Os pólos, agora, repelem-se e continuam a impulsionar o eixo. [12]

A Figura 2.4.4 esquematiza um motor simples onde os ímãs permanentes representam um estator e o rotor é uma bobina de fio de cobre por onde circula uma corrente elétrica. Esta corrente produz campos magnéticos e faz a bobina se comportar como um ímã permanente. Uma vez que a corrente é controlada as atrações e repulsões fazem o rotor girar.

No caso de um motor de passo, podem-se usar os princípios do magnetismo para construir um motor que não gira continuamente e sim em etapas, ou seja, discretamente. A Figura 2.4.5 esquematiza o princípio de funcionamento do motor de passo.

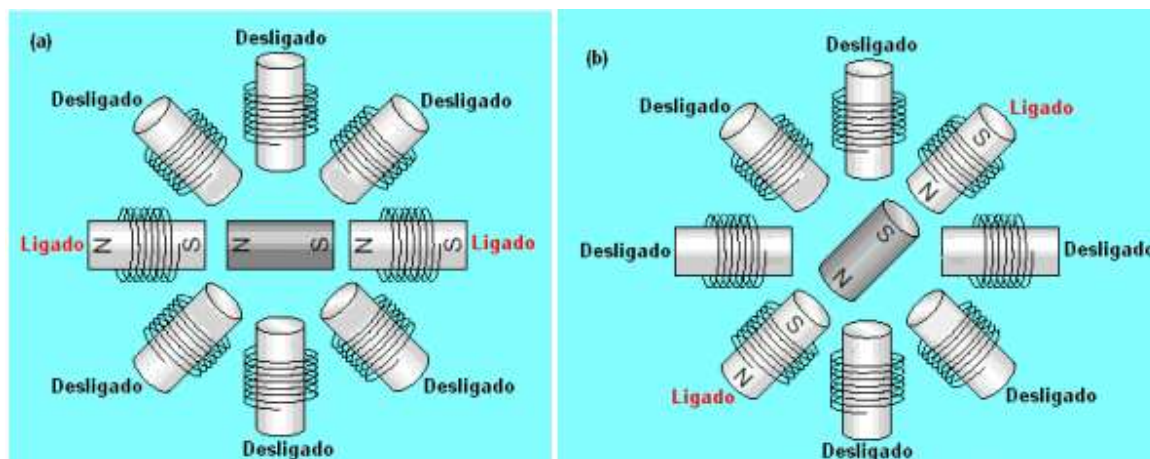


Figura 2.4.5 – Funcionamento do motor de passo: a) O rotor é atraído por um par de polos do estator; b) Desliga-se os polos anteriores e novos polos ligados. [12]

O rotor se movimenta discretamente, pausando em cada orientação, até que um novo comando ative outros eletroímã. Estes eletroímã são ligados/desligados numa sequência de modo que o rotor se movimente de um eletroímã para outro.

2.4.3 Tipos de motores de passo

Segundo [3], “dependendo das características construtivas, os motores de passo podem ser classificados em três tipos: a ímã permanente, a relutância variável ou híbrido”.

2.4.3.1 Motor de Passo a ímã permanente

Para [3], “a principal característica destes motores é o fato do rotor ser constituído de um material permanentemente magnetizado. Motores deste tipo possuem baixo custo, baixo torque e baixa velocidade”. São ideais para uso em periféricos de informática. Devido a sua característica construtiva, o motor resulta em ângulos de passos relativamente grandes, porém seu controle é mais fácil de ser implementado. A Figura 2.4.6 esquematiza um motor de passo a ímã permanente.

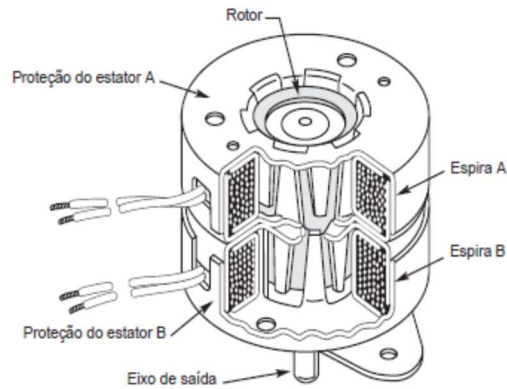


Figura 2.4.6 – Motor de passo a ímã permanente. [5]

2.4.3.2 Motor de passo a relutância variável

Segundo [1], “ao contrário dos motores de ímã permanente, cujo rotor é constituído de material permanentemente magnetizado e não é ranhurado, os motores de passo a relutância variável possuem o rotor e o estator constituídos de material ferromagnético e ambos ranhurados”. Por não possuir ímã permanente, o rotor gira livremente sem torque de retenção. Este tipo de motor é usado frequentemente em aplicações como mesas de micro posicionamento. A Figura 2.4.7 mostra o corte de um motor de passo a relutância variável.

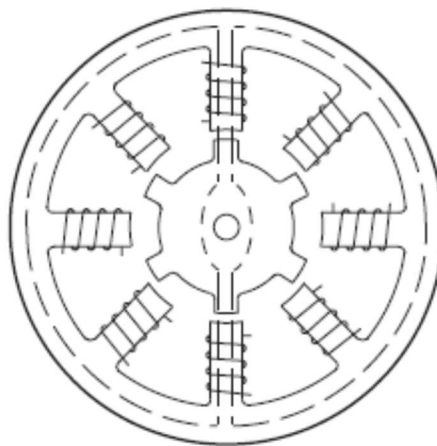


Figura 2.4.7 – Corte de um motor de passo a relutância variável. [5]

2.4.3.3 Motor de passo híbrido

Para [3], “os motores de passo híbridos combinam as características dos motores de passo de íman permanente (rotor permanentemente magnetizado) e de relutância variável (rotor e estator providos de pólos salientes)”, Figura 2.4.8 – Motor de passo híbrido. .

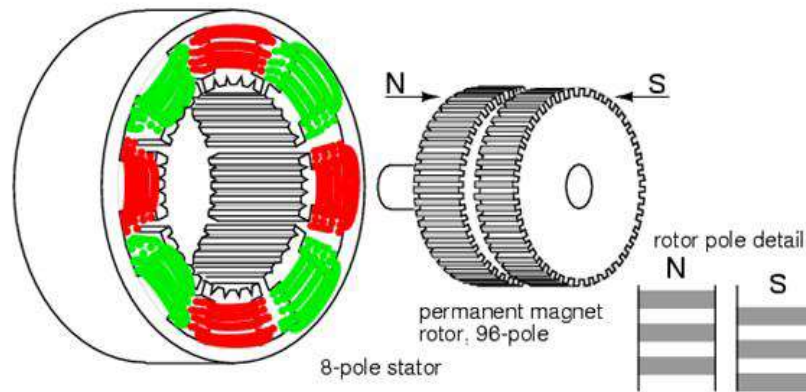


Figura 2.4.8 – Motor de passo híbrido. [3]

2.4.4 Modos de acionamento

Os motores de passo possuem três formas de acionamentos, passo completo (full step), meio passo (half step) e micro passo (micro step). Estes métodos variam de acordo com a sequência de comandos enviados da controladora para o motor. Basicamente, as sequências permitem energizar uma combinação de pólos que leva ao modo de acionamento desejado. O motor híbrido da Figura 2.4.9 mostra um modelo muito simples que produzirá 12 passos por revolução.

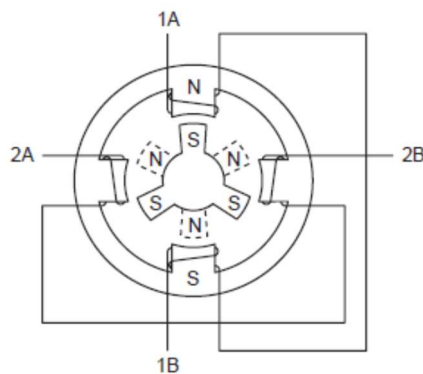


Figura 2.4.9 - Motor híbrido com 12 passos por revolução. [5]

O rotor é composto por duas partes com três dentes em cada parte. As duas partes são ligadas por um magneto permanente, isto gera um pólo sul numa extremidade e um pólo norte em outra. O estator é composto de uma carcaça com quatro dentes e bobinas são enroladas em cada dente formando pares. Caso não exista energia nas bobinas, o rotor tenderá a repousar em uma posição inicial, visto que a carcaça é de material ferroso e o rotor é magneto permanente.

Caso energize um par de espiras do estator, como pode ser visto na Figura 2.4.10a, os pólos norte e sul atrairão os dentes de polaridades opostas em cada extremidade do rotor. Um dos três dentes do rotor posiciona o mais próximo possível do pólo norte.

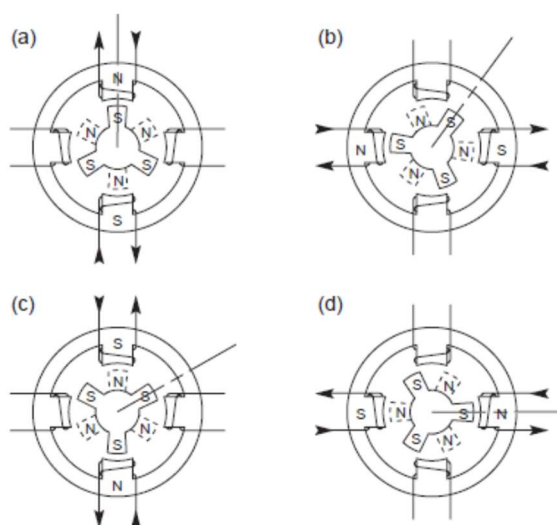


Figura 2.4.10 – Passo completo, uma fase ligada. [5]

Mudando o fluxo da corrente elétrica para os próximos pares de espiras do estator (Figura 2.4.10b), o campo magnético do estator roda 90° e atrai um novo dente do rotor. Isso faz o rotor girar 30° , que corresponde a um passo completo (*full step*). Revertendo as polaridades do primeiro conjunto de espiras do estator, o rotor realiza mais um passo completo (Figura 2.4.10c). E por fim, invertendo as polaridades do segundo conjunto de espiras do estator, o rotor realiza mais 30° (Figura 2.4.10d). Portanto, retorna-se a mesma situação (Figura 2.4.10a) e seguindo a sequência de acionamentos o motor realiza uma volta em 12 passos. Caso inverta os sentidos das correntes, o motor gira no sentido oposto.

A Figura 2.4.11 esquematiza o movimento do rotor em passo completo com dois conjuntos de bobinas energizadas. Esta condição implica uma ligação bipolar, (Figura 2.4.12).

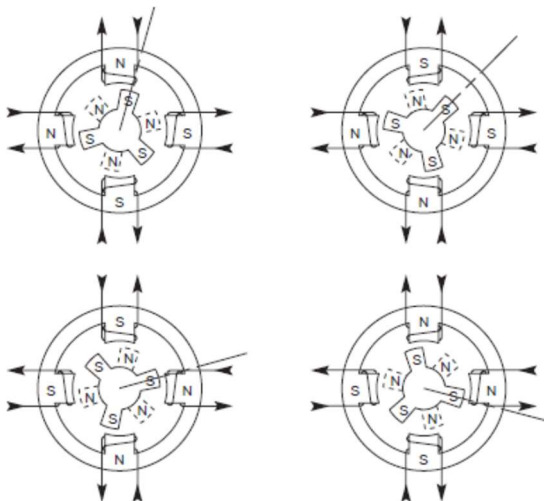


Figura 2.4.11 – Passo completo, duas fase ligadas simultaneamente. [5]

Esta condição produz um torque maior, pois todos os pólos do estator estão influenciando o motor.

O conceito de meio passo (*half step*) é esquematizado pela Figura 2.4.12. Segundo [3], energizando-se alternadamente uma e depois duas espiras do estator, o rotor se movimenta por apenas 15° em cada estágio, e o número de passos por revolução será dobrado.

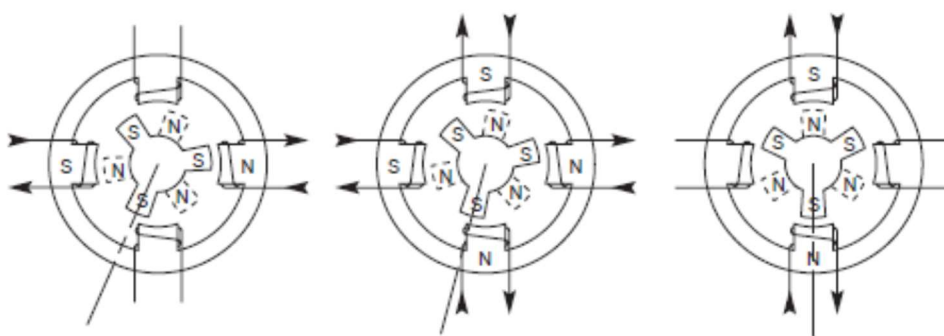


Figura 2.4.12 – Meio passo. [5]

Este modo resulta em suavidade muito melhor em baixas velocidades, além de menos sobrepasso ao final de cada passo.

O modo micro passo é mais complicado de se explicar em duas dimensões, mas está baseado na desigualdade de intensidade entre as correntes elétricas que ativam as bobinas do estator. A posição do rotor será deslocada em direção ao pólo mais forte. Esta forma diminui o tamanho do passo e suaviza o movimento em baixas velocidades. Segundo [5], nesta situação, o padrão de correntes nas espiras é muito semelhantes a ondas senoidais com um deslocamento de fase de 90° entre elas. A Figura 2.27 mostra a intensidade da corrente para energizar as bobinas.

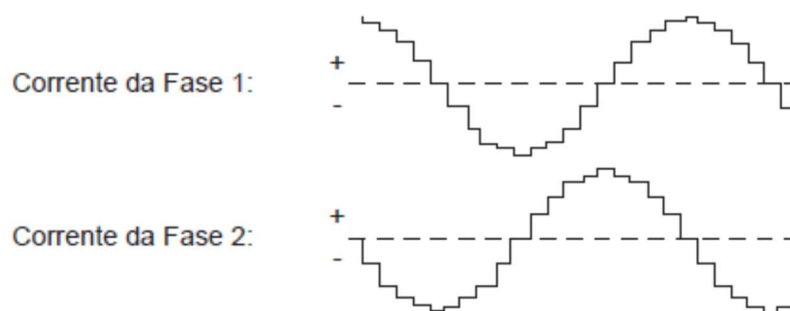


Figura 2.4.13 – Correntes de fase no modo micro passo. [5]

O motor de passo está sendo acionado de forma semelhante ao acionamento de uma motor síncrono CA convencional.

2.5 Controladores dos motores de passo (*Drivers*)

2.5.1 Introdução

Os controladores, também conhecidos por *drivers*, são o dispositivo eletrônico que interligam a máquina CNC à CPU de processamento. Segundo [4], “estas interfaces apresentam-se, geralmente, na forma de circuitos eletrônicos (placas de acionamento). O grau de complexidade destes circuitos está diretamente ligado às características das máquinas a serem controladas por tais circuitos. O *driver* para motor de passo fornece energia elétrica ao motor em respostas a sinais de baixa tensão do sistema de controlo. Portanto, a controladora nada mais é que uma fonte de corrente. A Figura 2.28 esquematiza as entradas e saídas dos sinais de um *driver*.

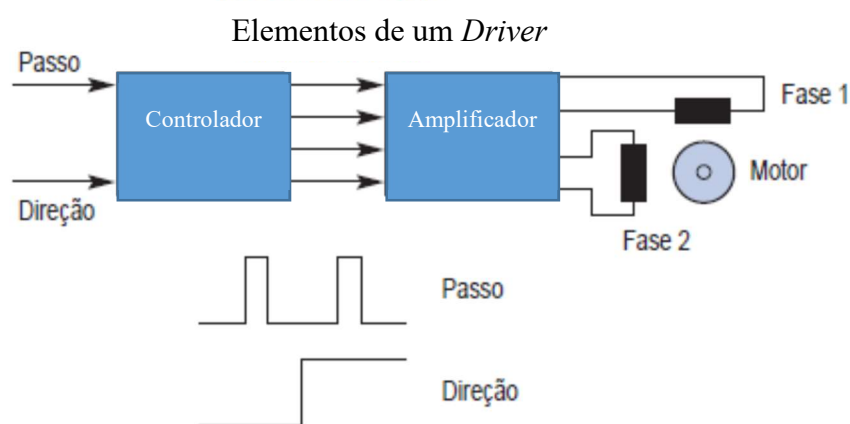


Figura 2.5.1 – Elementos de um controlador de motor de passo. [5]

A entrada de um *driver* é uma sequência de pulsos digitais e um sinal de direção. A cada pulso refere-se a um passo, seja o dispositivo configurado para passo completo, meio passo ou micro passo. Portanto, o *driver* pode exigir entre 200 e 100 000 pulsos para uma única rotação do rotor. Supondo uma velocidade de 3200 rpm, exige-se para meio passo, uma frequência de pulsos da ordem de 20 kHz. A precisão e suavidade do movimento do motor são determinadas pela qualidade do sinal de entrada no *driver*, a subdivisão dos passos e a regularidade e qualidade dos pulsos enviados ao motor, de tal maneira que a escolha dos *drivers* é determinante na qualidade de trabalho do motor, mesmo que o motor seja de boa qualidade.

2.5.2 Tipos de controladores de motores de passo

As controladoras são desenvolvidas de acordo com as necessidades da aplicação do motor de passo. Já foi visto que os motores são divididos em motores de passo com íman permanente, relutância variável e híbrido. Cada tipo destinado aos seus requisitos de torque, velocidade, precisão e custo. Assim, para garantir que os requisitos sejam respeitados, existem controladoras unipolares e bipolares.

2.5.2.1 Controladora Unipolar

O *driver* unipolar é o arranjo mais simples de estágio de potência para alimentar o motor de passo. Sua principal característica está relacionada à corrente elétrica que flui em uma direção através de um único terminal do motor. A Figura 2.5.2 esquematiza um circuito simples de controlo unipolar.

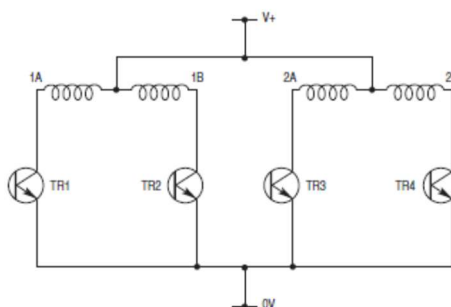


Figura 2.5.2 – Controle unipolar básico. [5]

No caso deste simples *driver*, a corrente elétrica para polarização das bobinas é determinada apenas pela resistência da bobina e pela tensão elétrica aplicada. Portanto, este circuito funciona bem para baixas velocidades, pois à medida que a velocidade aumenta o torque cai rapidamente devido à indutância do enrolamento.

2.5.2.2 Controladora Bipolar

Com o objetivo de aumentar o desempenho e a eficiência, usa-se uma controladora bipolar. Este *driver* permite controlar os sentidos da corrente elétrica em cada bobina do estator, portanto pode-se energizar várias bobinas simultaneamente. Esta condição proporciona ao motor um torque relativamente maior em relação às controladoras unipolares. O arranjo padrão de um *driver* bipolar é esquematizado na Figura 2.5.3.

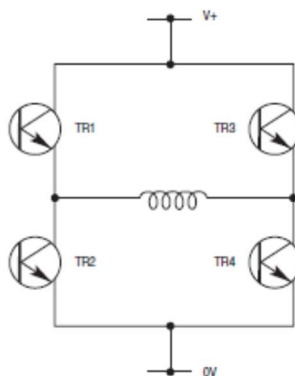


Figura 2.5.3 Circuito de um *driver* bipolar. [5]

Embora o circuito use dois pares de transístores comutadores, não exige-se alimentação simétrica como era de esperar para o controle do sentido da corrente elétrica. Um método de controlo mais eficiente é aplicado no circuito da Figura 2.5.3 por meio da estratégia de recirculação ou *chopper* de três estados. Este método é baseado na ponte de quatro transístores com díodos de recirculação e um resistor. Figura 2.5.4 mostra o circuito de uma controladora *chopper*.

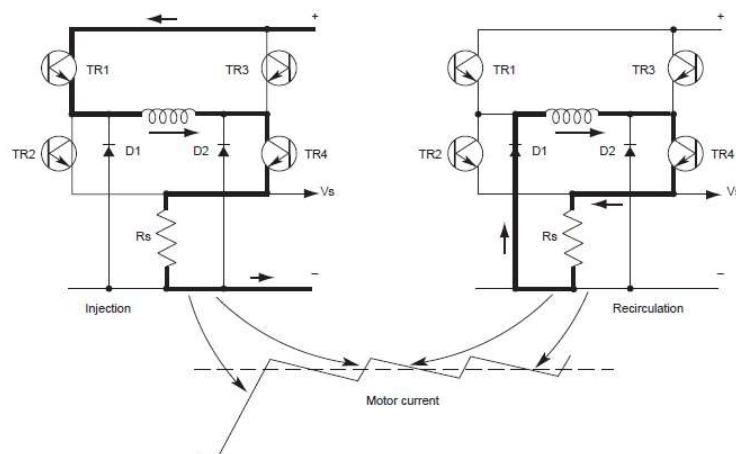


Figura 2.5.4 *Driver Chopper* com recirculação. [5]

O circuito mostra que a corrente é introduzida no enrolamento se for acionado um transístor superior e outro inferior, o par de transístores complementar altera o sentido da corrente. A corrente aumentará linearmente e pode ser monitorada pelo resistor (R_s). Quando a tensão nominal do motor for atingida o transístor superior é desligado e a energia armazenada na bobina mantém a corrente circulando pelo diodo e o transístor inferior. Aos

poucos a corrente vai diminuindo de intensidade até atingir um limiar pré estabelecido, o transistor superior volta a ser religado e alimenta a bobina novamente, repetindo o ciclo. O mais importante é que a corrente é mantida no valor médio necessário ao funcionamento adequado do motor devido a comutação dos transístores.

Segundo [5], “quando um controle de corrente mais apurado for necessário, como no caso de um motor de micro passo, a modulação por largura de pulso (PWM) é utilizada”. O controle por *chopper* é muito eficiente porque muito pouca energia dissipada nos transístores de comutação quando não estão no estado de comutação transiente.

3 DESENVOLVIMENTO

Concerne a este capítulo apresentar algumas etapas do desenvolvimento já executadas, como as condicionantes de construção e a pesquisa de mercado, cabe lembrar que sendo este documento apenas um relatório preliminar, a abordagem limita-se apenas aos aspetos mais essenciais que permitam a iniciação do projeto, sendo que posteriormente será apresentado, no relatório definitivo, uma abordagem mais profunda e completa de todo o desenvolvimento do projeto.

3.1 Condicionantes

Foram previamente estabelecidas condicionantes com o intuito de diminuir custos de construção e aproveitamento de material disponibilizado pelo departamento de engenharia de outros projetos. A utilização de guias de baixo custo e estrutura simples também foram determinadas como condicionantes iniciais do projeto assim como a utilização mínima de partes maquinadas. A lista que se segue resume as condicionantes aplicadas a este projeto.

- Estrutura simples.
- Guias HGH 15.
- Utilização de perfil de alumínio 45x45 20.1006/0.
- Motores Nema 23 35kg.cm.
- Fresa FERM FCT 160.
- Estrutura em acrílico 6mm.
- Utilizar o mínimo de partes maquinadas.
- Área útil de 500X600mm.

3.2 Pesquisa de mercado

O mercado apresenta uma grande variedade de fresadoras. O tamanho e capacidade são determinados em função dos objetivos de produção a que se destinam as máquinas. Com a difusão da tecnologia CNC, o crescimento da oferta deste tipo de máquinas no mercado, na última década, foi muito elevado multiplicando-se desde fresadoras para pequenos trabalhos domésticos até fresadoras multifuncionais robotizadas e autónomas.

A EasyWorker- Master é o modelo ideal para a iniciação na área CNC, mas também para a realização de trabalhos que não precisam de áreas de trabalho grandes, como por exemplo, moldes para a indústria de automóvel e juntas.

Devido à sua estrutura de aço em monobloco e o seu sistema de posicionamento por sem-fim, a EasyWorker Master apresenta uma elevada precisão, estabilidade e segurança, Figura 3.2.1.



Figura 3.2.1 – Fresadora EasyWorker Master 1882 [6].

Apesar das suas reduzidas dimensões, esta fresadora tem diversas aplicações que vão desde o corte e gravação 3D em PVC, acrílico, madeira e metais através de motor de fresa, até ao processamento de cartão e papel através de motores oscilantes e tangenciais.

AKYAPAK APD2500x3000 Fresadora Industrial. Mesa de fresagem de alta precisão para fresagem e furação para chapas em aço de 4 eixos, controlados por comando numérico computadorizado, Figura 3.2.2.

- Processamento de elevado desempenho.
- 4 eixos CNC.
- Fuso de alta precisão de posicionamento.
- Fixação manual.
- Perfuração, corte e fresagem com um único fuso.
- Ajuste substituição por bucha manual rápida.
- Fresadora especial 6000 rpm.
- Refrigeração da ferramenta por líquido ou ar.
- Área útil:(mm): 2500x3500.
- Diâmetro máximo de furação (mm): Ø 50.



Figura 3.2.2 – Fresadora AKYAPAK APD 2500x3000 [7].

Os modelos industriais apresentam uma grande capacidade e precisão, porém o objetivo do projeto não é uma máquina para fresagem nessas dimensões. Assim a pesquisa foi direcionada posteriormente para modelos menores de estrutura simples.

Na Figura 3.2.3 está o modelo CHAPEOKO DIY CNC que apresenta a simplicidade pretendida porém o sistema de guias e perfis não são compatíveis com as condicionantes iniciais do projeto.



Figura 3.2.3 – Fresados CHAPEOKO DIY CNC [10].

O modelo da Figura 3.2.4 foi construído com perfis de alumínio dispostos em uma estrutura de mesa móvel em y, toda via esse sistema tem a desvantagem da diminuição considerável na área útil e na capacidade de fresagem de matérias pesados.



Figura 3.2.4 – Fresadora CNC em perfil de alumínio – fonte <http://www.clasf.com.br/>.

Acesso em 05/02/16.

4 DESENHO CAD

O início da conceção do projeto começa com a realização de um desenho tridimensional em CAD. O *software* utilizado para o desenho foi o ***Solidwork 2013***.

4.1 *Soliworks*

SolidWorks é um *software* de CAD (*computer-aided design*), desenvolvida pela *SolidWorks Corporation*, adquirida em 1997 pela *Dassault Systèmes S.A.*, e que funciona nos sistemas operacionais Windows. Seu início foi em 1993, mostrando-se um concorrente do *PRO-Engineer*, *Inventor* e *SolidEdge*.

O *SolidWorks* baseia-se em computação paramétrica, criando formas tridimensionais a partir de formas geométricas elementares. No ambiente do programa, a criação de um sólido ou superfície tipicamente começa com a definição de topologia em um esboço 2D ou 3D. A topologia define a conectividade e certos relacionamentos geométricos entre vértices e curvas, no esboço e externos ao esboço.

4.2 *Conceção tridimensional em CAD.*

O início da conceção do projeto começa pelo desenho das partes padronizadas guias e perfis. A guia escolhida foi a guia HIWIN com o carro modelo HGH15, Figura 4.2.1, a medidas foram obtidas no catálogo da empresa [8].

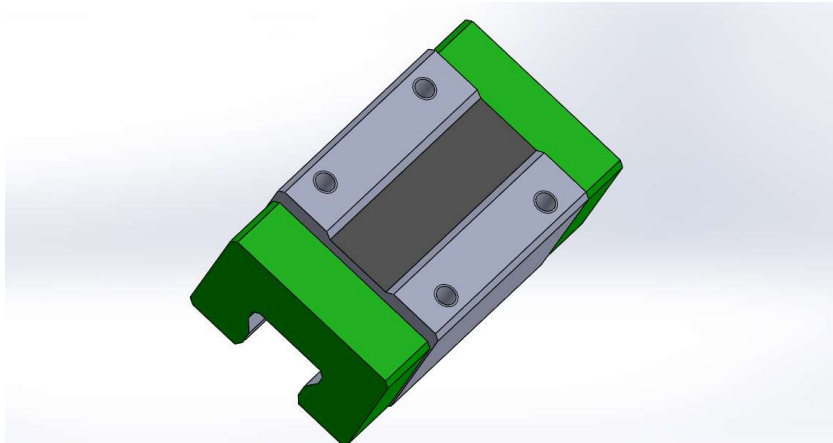


Figura 4.2.1 – Carro HGH15 HIWIN.

Em seguida foi elaborada a guia HGR15 R com a fixação pela parte superior da guia, as medidas também estão em concordância com as apresentadas no catálogo HIWIN.



Figura 4.2.2 – Guia HGR R HIWIN.

O perfil foi desenhado com medidas obtidas por medição direta uma vez que os perfis eram de propriedade da escola e foram utilizados em projetos anteriores.

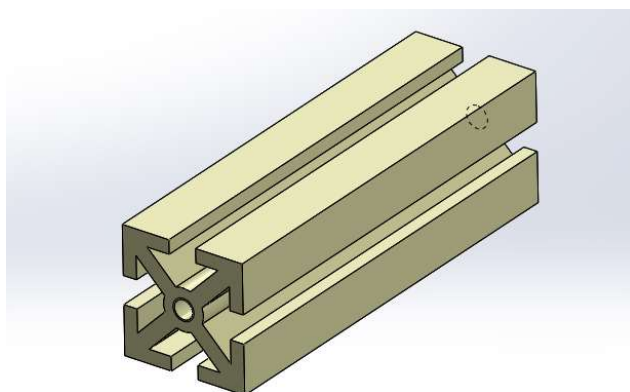


Figura 4.2.3 – Perfil 45x45 em alumínio.

A utilização dos perfis disponíveis foi uma opção para diminuir os custos de construção, havia outros tipos de perfil disponíveis mas o que melhor se adequava às intenções do projeto eram o perfil de alumínio 45x45 20.1006/0 com as seguintes características:

- $I_x = 15,934 \text{ cm}^4$
- $I_y = 15,934 \text{ cm}^4$
- $w_x = 7,081 \text{ cm}^3$
- $w_y = 7,081 \text{ cm}^3$
- Peso 2,205 kg/m

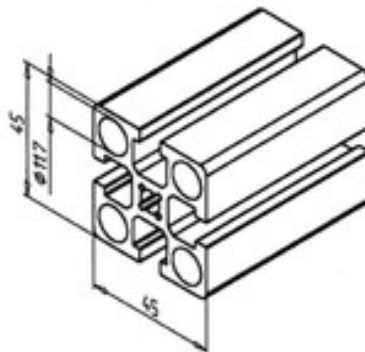


Figura 4.2.4 - Medidas do perfil de alumínio.

A disposição dos eixos de movimentação ficou previamente estabelecida conforme apresentado na figura a seguir:

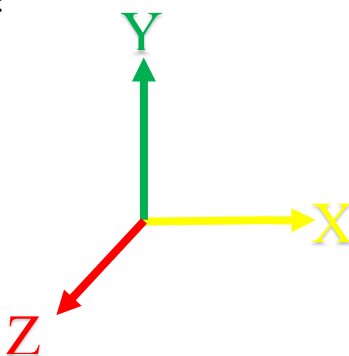


Figura 4.2.5 – Disposição dos eixos de movimentação.

Uma das condicionantes iniciais foi a mínima aplicação de peças maquinadas, para que tal fosse possível foi necessário o desenho de chapas para aporte todas as estruturas móveis. Portanto, todas as partes de montagem de suporte dos motores e tensores e guias são chapas cortadas, conforme Figura 4.2.6. Isso permitiu uma redução dos custos da produção da estrutura.

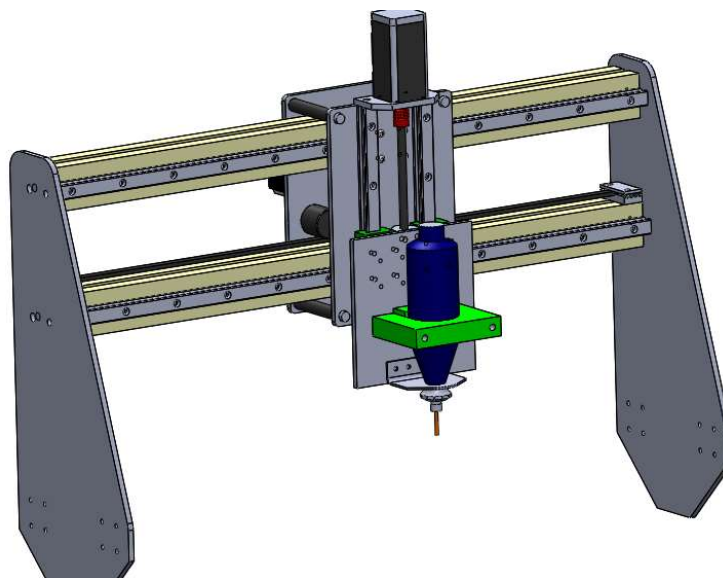


Figura 4.2.6 – Estrutura superior da fresadora.

A disposição do motor na parte central da chapa, conforme a Figura 4.2.7, foi necessária para uma melhor distribuição das tensões geradas pelo peso do motor, permitindo assim a utilização do material pretendido para o fabrico da chapa, chapa de acrílico de 6mm. O acrílico apresenta baixas propriedades mecânicas, uma vez que é um polímero. A rigidez do projeto não foi uma prioridade.

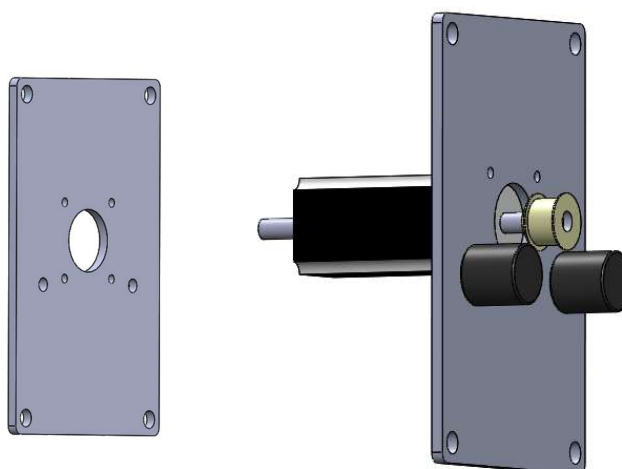


Figura 4.2.7 – Chapa de suporte do motor do eixo X.

O deslocamento do eixo X é de 544mm, permitindo uma deslocamento maior do que o objetivo inicial de 500mm em X.

O deslocamento em Z é de 166mm, Figura 4.2.8. Esse deslocamento é superior à diferença entre a mesa o limite da altura disponível para fresagem, que é de 80mm, toda via esse deslocamento pode ser muito útil na aplicação de novas funcionalidades para a fresadora permitindo a aplicação de outros suportes e ferramentas como por exemplo uma tocha de corte plasma.

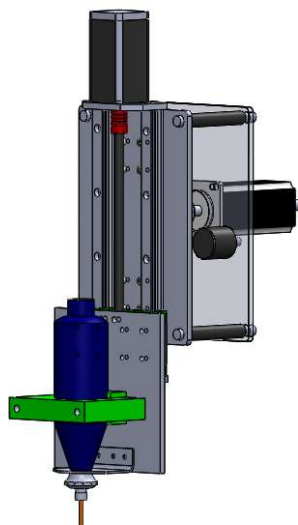


Figura 4.2.8 – Cabeça da fresadora, deslocamento em Z.

Para a movimentação em Y, foi aplicada lateralmente guias lineares HGR 15 R, fixadas diretamente nos perfis laterais da estrutura da mesa de corte, conforme apresentada Figura 4.2.9. Essa aplicação teve como objetivo permitir o movimento preciso da cabeça sobre a peça a ser fresada que está fixada na mesa, inicialmente cogitou-se a fixação da cabeça e essa movimentação em Y ser realizada pela mesa, toda via esse modelo foi descartado devido a uma considerável perda de área útil de trabalho em toda a estrutura. Também, considerou-se que, como a movimentação seria feita sobre correias, a precisão seria prejudicada no caso de maquinação de peças pesadas devido a atuação das forças de inércia. No entanto, como o objetivo desse projeto não é a elaboração de uma fresadora de precisão para materiais duros e pesados mas sim de uma fresadora didática de aplicação de baixo rigor para estudo das tecnologias aplicadas em projetos de máquinas de ferramenta.

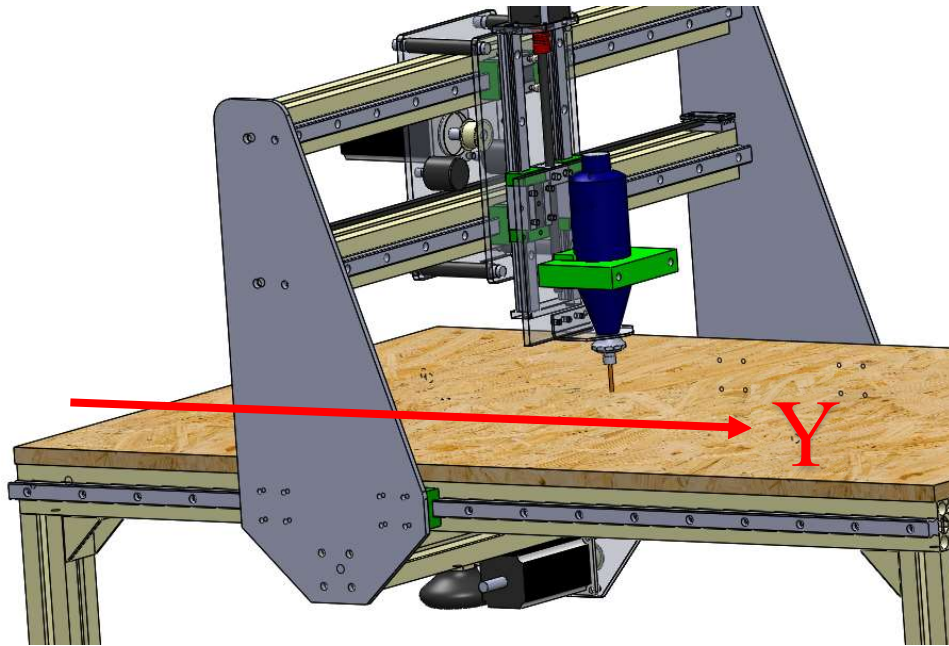


Figura 4.2.9 – Estrutura lateral – Movimento em Y.

A movimentação em Y é controlada por um motor de passo que está fixado por baixo da mesa conforme a Figura 4.2.10.

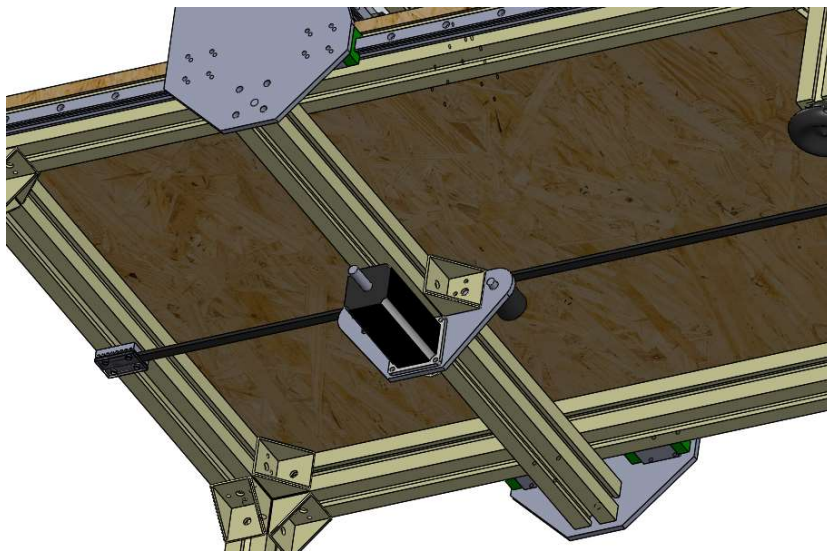


Figura 4.2.10 – Motor de movimento do eixo Y.

O resultado final do desenho foi uma estrutura simples em que a utilização de processos intermediários de maquinação para a produção da estrutura não foi necessário, o que possibilitou a utilização de chapas de acrílicos para maior parte da estrutura, Figura 4.2.11.

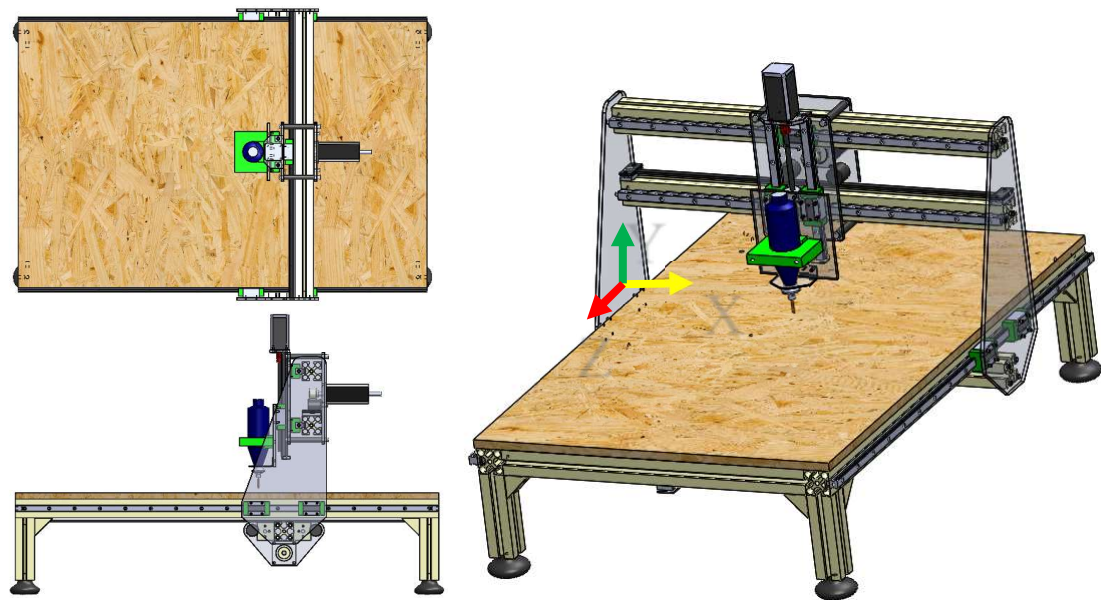


Figura 4.2.11 – Desenho em CAD, aspeto final.

5 SOFTWARE DE CONTROLO

O *software* de controlo estabelece a comunicação e o controlo dos motores de movimentação dos eixos com o computador e *hardware* de controlo. É também responsável pela conversão dos arquivos de desenho em coordenadas de movimento para cada eixo. Os controladores recebem essa informação e transportam para os motores transformando em movimentos. Para implementações de pequeno porte a aplicação de um *hardware* com *software* integrado é uma opção mais viável pois a diminui custos com licenças de *software* especializados [9].

5.1 EDINGCNC

Eding CNC desenvolve uma solução de integração PC e CNC, que é adequado para muitas aplicações CNC. Eding CNC tem mais de 25 anos de experiência em aplicações de *hardware* de movimento, de *software* e de movimento. A Eding CNC reconheceu desde o início que, com um PC e o sistema operacional Windows, é impossível gerar código direto de controlo, de alta frequência de movimento para o motor de passo. Para ser capaz de fazer isso, é necessário uma leitura de comportamento de sinal em tempo real no nível microssegundo. Assim, o produto EdingCNC é projetado a partir do zero para trabalhar com uma CPU externa que cuida desse comportamento em tempo real.

O sistema apresenta um sistema simples de ligação via USB ou Ethernet, anulando as ligações seriais que não são mais utilizadas nos computadores modernos, oferecendo ao operador uma conexão simples e moderna ao sistema CNC. A Figura 5.1.1 apresenta esse esquema conforme enumeração a seguir.

1. Operador.
2. PC conectado via USB ou Ethernet para gabinete eletrônico que contém a CPU EdingCNC. O PC executa o CNC Control *Software* eding.
3. Eletrônica gabinete, com fontes de alimentação, *drivers* e EdingCNC CPU.
4. CPU EDINGCNC.
5. Máquina CNC.

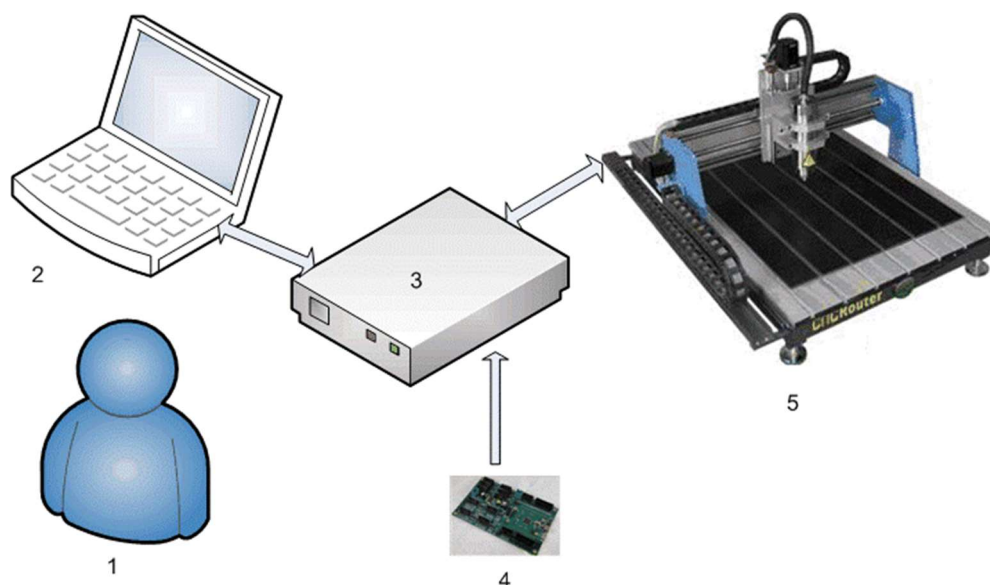


Figura 5.1.1 – Esquema de ligações do sistema EDINGCNC.

A conexão da CPU para o PC é via USB ou Ethernet, dependendo do modelo de CPU. A CPU proporciona sinais de passo para a placa de potência de cada motor (carro), as placas de potência estabelecem conexões com os motores dos eixos gerando movimento na máquina, Figura 5.1.2. Outros sinais, como sensores de fim de curso, são ligados diretamente a CPU da EdingCNC.

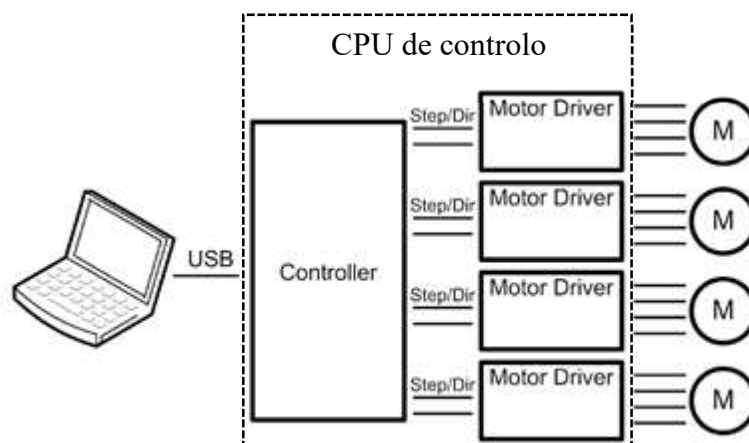


Figura 5.1.2 – Esquema de conexão dos componentes de um sistema CNC.

A interface do usuário do EdingCNC é projetado com as pessoas que trabalham com máquinas CNC todos os dias de forma a desenvolver uma interface funcional e simples. Todas as operações da máquina podem ser feitas de uma tela usando as teclas de

funções, nenhum rato é necessário. Novas funções serão adicionadas continuamente. Além disso, o desenvolvimento de *hardware* é um processo contínuo para uma maior funcionalidade e velocidades mais altas. Há duas soluções a respeito da ligação entre a CPU movimento e o PC; USB e Ethernet. A EdingCNC recomenda ligações via Ethernet para uso industrial.

O produto tem a funcionalidade de movimento muito profissional como visão de execução em tempo real na interface do programa.

5.2 CNC Control *Software* eding.

CNC Control *Software* é o programa de controlo da CPU de controlo EdingCNC. O *software* apresenta uma gama de recursos que são comparáveis aos melhores *softwares* de controlo em máquinas profissionais.

5.2.1 Recursos visuais

Interface principal do programa CNC control

O programa possui vários recursos visuais de controlo. Recursos de operação onde o operador pode determinar as variáveis necessárias para a execução da operação de fresagem e controlar outras funções diretamente no *software* através de janelas específicas disponíveis na árvore de operadores e/ou ícones de funções. Figura 5.2.1 está a interface principal do programa.

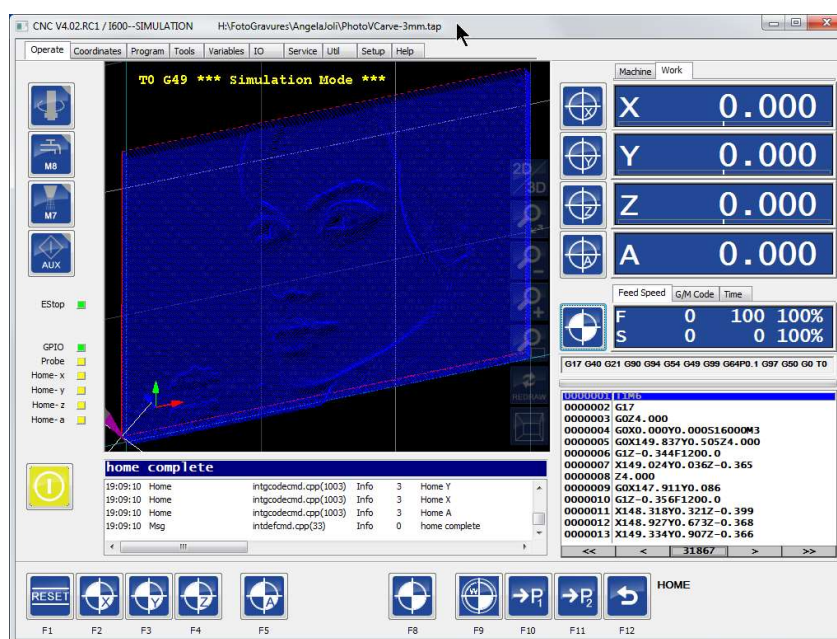


Figura 5.2.1 – Interface principal do programa CNC control 4.02.

No lado esquerdo há botões para operações comuns:

- Fresa on-off,
- Fluido
- Névoa Refrigerante on-off, e
- AUX *on-off* (por exemplo, para a luz da máquina).
- MACHINE ON *Button* (Abaixo Início C led) Este tem algumas cores com significado diferente:

- ✓ Cinza indica que a máquina está desligada, unidades desligadas.
- ✓ Amarelo a piscar, *Driverrs* dos motores devem estar habilitados, *setup* deve ser realizada.
- ✓ Amarelo, à espera de ação do operador.
- ✓ Verde, máquina de execução.
- ✓ Vermelho, erro ou parada. A piscar quando E-Stop ainda ativo.



Figura 5.2.2 – Botões do lado esquerdo do painel principal.

Na parte inferior do painel principal aparece os botões de funções para abrir as janelas de configuração dos eixos, Figura 5.2.3.

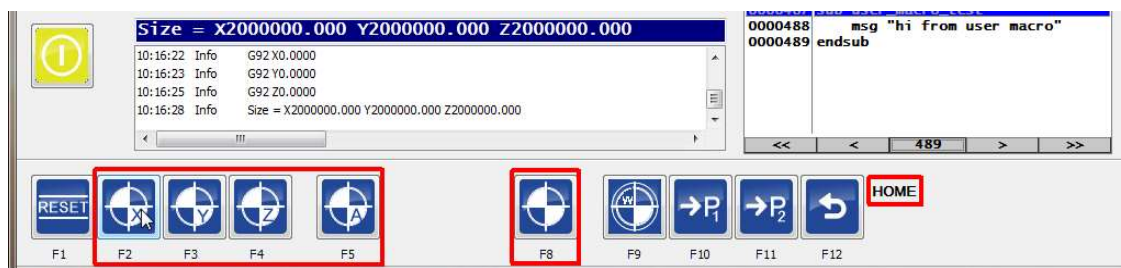


Figura 5.2.3 – Botões de funções, parte inferior do painel principal.



Este botão tem que ser utilizado depois de iniciar o *software* para permitir que as unidades iniciem.

- Ativar o os *drivers* dos motores
- Recuperar quando ocorrer um erro
- Parar um programa em execução

Este botão interrompe a execução do trabalho atual se em execução. Este é apenas para conveniência, não para parada de emergência de segurança. Por razões de segurança deve se usar um botão de segurança manual real.

Os menus de utilização do são adequados para operações variadas e permitem uma maior dinâmica do *software* e sua complexidade está diretamente ligada a complexidade

da máquina, pois algumas máquinas não utilizarão necessariamente todas as funções disponíveis.

5.2.2.1 Menu principal

O menu principal, apresentado na Figura 5.2.5, tem um logotipo seleccionável pelo usuário no lado direito:



Figura 5.2.5 – Botões do menu principal.

- Redefinição de F1, esta tecla volta para um submenu.
- F2, ao menu inicial.
- F3, ao menu de zero.
- F4, o menu auto.
- F6, entrada de dados manuais (ctrl-f6 trabalha sempre para MDI).
- F7, as funções da máquina I / O para os eixos e refrigerantes.
- F8, funções de manipulação de gráficos.
- F9, entrar com o modo de teclado ou mão roda.
- F10, utilizar para movimentar-se pela tela o rato ou tela de toque.
- F11, menu de usuário.

5.2.2.2 Menu do painel principal

Esse menu pertence a interface principal e é exibido conforme a Figura 5.2.6. As funções dos botões estão enumeradas na lista a seguir.



Figura 5.2.6 – Menu do painel principal.

- F1, redefinir
- F2 - F7, Casa X - Início C
- F8 Início todos os eixos
- F10, ir para a posição de estacionamento G28
- F11, ir para a posição de estacionamento g30
- F12, voltar ao menu principal.

5.2.2.3 Menu Zero

O Menu Zero permite a utilização de funções de correção dos detalhes de maquinação, Figura 5.2.7.

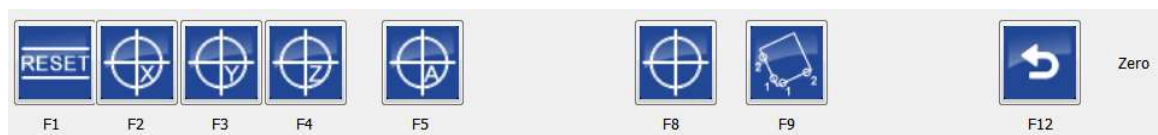


Figura 5.2.7 - Menu Zero

- F1, Reset
- F2 - F7, de zero x - de zero c
- F8, zerar tudo
- F9, rotação das medidas e aplicar G68 R.
- F12, voltar ao menu principal

F9 é para função de rotação é uma medida característica de facilitação de utilização. Esta corrige automaticamente a parte do trabalho alterado, determinando medidas de rotação. Isso significa que não é preciso gastar tempo para configurar as medidas de correção.

5.2.2.4 Auto Menu

Esse menu é utilizado quando é utilizado intervenções diretamente no código G do painel de controlo ou quando a operação de maquinação é aberta diretamente através de um código G baixado.



Figura 5.2.8 – Auto Menu

- F1, Reset
- F2, carregar o arquivo G-Code
- F3, redesenhar (re-render programa inteiro através de intérprete g-code)
- F4, correr ou pausar o programa.
- F5, trabalho de retrocesso.
- F6, editor inicial.
- F7 iniciar um trabalho em algum lugar determinado ou um número de linha. (Por exemplo, depois de uma rutura da ferramenta).
- F9, + alimentação sobreposta.
- F10, - substituir alimentação.
- F11, mostrar opções de assentamento.
- F12, voltar ao menu principal.

G28: Executar G28 quando o programa terminar.

G30: Executar G30 quando o programa terminar.

ARCF%: Reduzir a alimentação para a grande Arc de.

Single: Ative o modo de única etapa, quando F4 (Start) é pressionado, apenas 1 linha do arquivo de trabalho é executado.

BlockDel: Quando ativo todas as linhas com '/' na frente não será executada.

M1Stop: parada opcional M1, quando um M1 é encontrado no g-code o programa irá parar se esta verificação estiver ativa.

SIM: O modo de simulação.

FastRtGraph: O gráfico em tempo real não irá consumir memória, usá-lo durante a execução de programas de longa duração (várias horas ou mais). Esta função também é ativado automaticamente quando o tamanho do arquivo do trabalho é maior do que *LongFileModeCriterion* na configuração.

Fast Rendering: Também para programas muito extensos, apenas os contornos (retângulo) da peça são desenhados. Isso também é ativado automaticamente quando o tamanho de arquivos é maior do que *SuperLongFileModeCriterion*.

5.3 CPU5B EdingCNC

A CPU5B EdingCNC é uma placa de controlo multifuncional CNC que apresenta um leque vasto de recursos aplicáveis em máquinas de alta performance, competitiva e produtiva, rivalizando com outras de nível industrial especializadas e apresentando um custo reduzido, o que é um dos objetivos do presente projeto. A grande vantagem da utilização desse CPU é o fornecimento integrado do *software* de controlo juntamente com a placa de controlo, Figura 5.3.1.



Figura 5.3.1 – Placa de controlo CPU5B EdingCNC [9].

Os Recursos estão enumerados a seguir:

- ✓ Menor tempo de produção CNC possível, trabalho, especialmente em 3D, dependendo do produto, USBCNC pode ser de até 2 vezes mais rápido. Isto é possível graças ao *Advanced Look Ahead Feed Algorithm* que funciona para todos os planos de segmentos, linhas e círculos, olhando para a sua curvatura e reduzindo a velocidade apenas quando absolutamente necessário.
- ✓ Operação de uma tela simples, UI projetado para e pelos operadores CNC profissionais.
- ✓ Execução modo de matriz para a produção múltipla.
- ✓ Cálculo de alimentação otimizados para 4 eixos de maquinação, evitando a quebra da ferramenta, devido à errada alimentação de ferramenta de ponta.
- ✓ Controle *Override* de alimentação durante a execução de 0-300%.
- ✓ Fácil começar a meio caminho no arquivo de g-code, usando método de pesquisa.

- ✓ Eixos integrados (*Slave Axes*), para sistemas com motores duplos (em tandem) em X, Y ou Z eixo.
- ✓ Sequência *homing* especial para tandens, define conjunto reta.
- ✓ Faca tangencial, é necessário programar apenas as coordenadas X.Y e a faca tangencial seguinte, também em círculos e levanta se automaticamente quando necessário.
- ✓ Compensação de folga.
- ✓ Spindle proporcional ao tempo de aceleração.
- ✓ A deteção de colisão quando o trabalho g-code é carregado evita danos à máquina.
- ✓ Correr estimativa de tempo quando o trabalho for carregado.
- ✓ Abertura de roscas (Torno).
- ✓ Gráficos *OpenGL* permite em tempo real PAN / ZOOM / RODAR
- ✓ G-código é EMC compatível, RS274NGC, pode ser usado com todo o *software* CAM até agora.
- ✓ Extensões G-código com IF..THEN, WHILE..ENDWHILE, ENDSUB SUB, GOSUB.
- ✓ Modo de arquivo Super longa permite que arquivos infinitas, testados com 100.000.000 linhas g-code.
- ✓ A interação do usuário a partir de G-Code com o comando DlgMsg e muito mais.
- ✓ Troca de ferramenta automática pode ser programada inteiramente em G-código.
- ✓ Pause, Jog distância, retomar a correr no meio da corrida g-code.
- ✓ Jog wheel Mão com posição e modo de velocidade.
- ✓ Permite desenhar em CAM 2D para perfuração, gravura, perfis e cavidades, lê DXF e HPGL.
- ✓ SDK para a construção de personalização da interface do usuário.

A placa apresenta entradas e saídas multifuncionais que permitem uma maior autonomia e automação do processo, assim como a aplicação de recursos de controlo como sensores e botões de segurança, Figura 5.3.2.

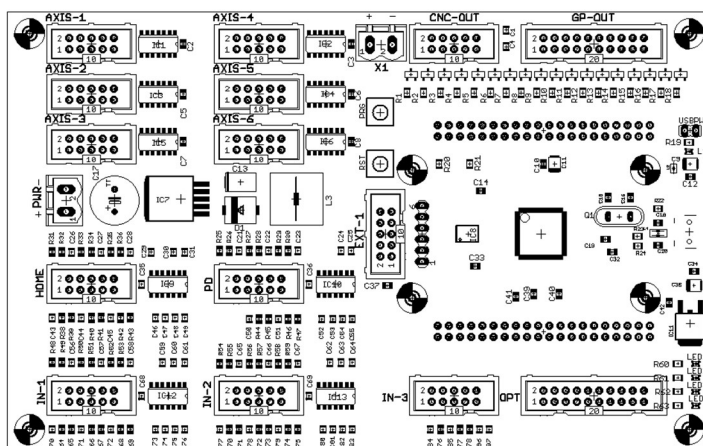


Figura 5.3.2 – Imagem esquemática da disposição das conexões da placa CPU5B EdingCNC [9].

- Frequência de 125 KHz etapa.
- 6 eixos completa interpolação.
- Tamanho do cartão Euro 100x160mm.
- 5 de status do LED.
- 6 saídas CNC padrão (*Tool*, direção *Tool*, PWM *TOOL*, *Flood* refrigerante, refrigerante névoa, bomba de carga para o *watchdog* externo)
- 9 entradas CNC Padrão (entradas 6 Casa, Sonda, sensor do eixo, 2 x E-Stop, *External ERRO*, Executar, Pausa, roda de mão).
- 9 saídas digitais de uso geral (de troca de ferramentas).
- 2 saídas PWM extra para a velocidade do motor ou de controlo de temperatura.
- 6 entradas digitais extra (trocador de ferramentas).
- 3 entradas analógicas extras 3. O IO extra é controlado por M54, M55, M66.
- Interface para PC é USB 2.0.
- Opcional 100 Mbit Ethernet.
- Conector de alimentação, entrada de 9-24 Volt.
- Campo *firmware* atualizável.
- USB CNC *Software* incluído.
- Windows XP, Windows 7.
- Funciona em processador *single core Atom* PC.

6 MONTAGEN ELETRÓNICA

Este capítulo descreve todo o processo para a montagem do circuito eletrónico assim como uma descrição dos componentes utilizados e suas ligações. Cabe citar que a aplicação de cada componente foi realizada com o intuito de permitir a utilização do sistema em uma máquina CNC de três eixos, não somente uma fresadora apesar de o *software* ser direcionado para essa aplicação ele também possui recursos para outras aplicações como por exemplo uma impressora 3D.

6.1 Fonte de alimentação

As fontes de alimentação servem para fornecer energia eléctrica, transformando a corrente alternada da rede pública em corrente contínua. Estabilizam a tensão, ou seja, mesmo que a tensão da rede pública varie, a fornecida pela fonte de alimentação é mantida aproximadamente constante.

Existem dois tipos principais de fontes:

- Fonte linear – normalmente é composta por um transformador, retificador, filtro, circuito de controlo, este circuito é utilizado em aparelhos que consomem pouca energia.
- Fonte comutada – é utilizada nos computadores modernos, sendo mais eficiente e mais barata por dois motivos: gera menos calor, logo é mais eficaz e trabalha a frequências mais elevadas permitindo a utilização de transformadores e circuitos de filtragem menores e mais baratos; A tensão da rede é convertida numa tensão contínua através de um retificador e filtro (como nas fontes lineares), mas não utiliza o transformador na entrada. Esta tensão contínua vai ser convertida em tensão alternada de frequência elevada através de um circuito eletrónico, que na saída tem vários circuitos de retificação e filtros (igual a um número de saídas pretendidas). A este circuito eletrónica chama-se conversor DC/DC, cuja função é converter a tensão retificada da rede em várias tensões contínuas (positivas e negativas).

A fonte de alimentação aplicada fornece uma potência nominal de 240W, 10A-24V. Os valores são superiores às necessidades do circuito uma vez que os consumos estimado para todo o circuito é de 8,5A, valor máximo, Figura 6.1.1.



Figura 6.1.1 – Fonte de alimentação Mean Weel.

A fonte apresenta um dispositivo de sobrecarga e aquecimento e a tabela abaixo apresenta suas principais características.

Tabela 6.1.1 – Características técnicas da fonte.

Modelo DRP 240-24	Estrada	Saída
Tensão	100-240 V AC	24V CC
Corrente de trabalho	2,8 A/115VAC 1,4 A/230VAC	0-10 A
Variação da tensão	85~264VAC	24~28V
Frequência	47~63Hz	
Eficiência	84%	
Temperatura de trabalho	-10 ~ 70°C	
Temperatura de saturação	<-20°C; >85°C	
Potência nominal	240W	

A fonte também realiza uma correção na tensão de saída, garantindo a estabilidade do circuito e protegendo seus componentes, esse fator é preponderante na escolha das fontes uma vez que é preciso garantir que as variações ocorridas no fornecimento da rede não afetem ou danifiquem a máquina.

6.2 Controladores dos motores de passo

O controlador Wantai DQ420MA, Figura 6.2.1, é um tipo de driver híbrido de duas fases, a voltagem da unidade varia dos 12VDC aos 36VDC. Ele é projetado para uso com motor híbrido de passo de 2 fases de todos os tipos, com indutores de 20 milímetros a 42 milímetros de diâmetro exterior e corrente de fase inferior a 2.0A. Possui um circuito que adota postura semelhante ao circuito de servo controlo que permite que o motor a funcionar sem problemas, quase sem ruído e vibração. Mantem bom torque mesmo quando o motor está em alta velocidade, É amplamente utilizado em dispositivos de controlo numérico, tais como máquinas de encurvamento, máquinas de CNC, impressoras e assim por diante.

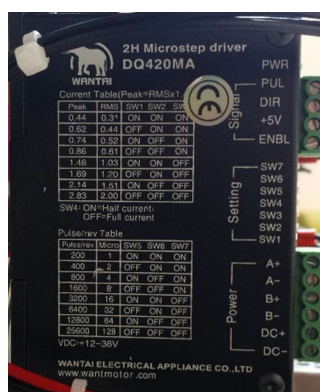


Figura 6.2.1 – Controlador de motor de passo Wantai.

Características:

- Alta performance, baixo preço,
- Controle médio de corrente,
- Tensão de alimentação de 12VDC até 36VDC,
- Conexões de entrada e saídas isoladas,
- Proteção para sobretensão, subtensão, curto-circuito e sobre corrente de fase,
- 8 Subdivisões de corrente nominal,
- 8 Configurações de *micro-step*,
- Entrada de comando *off-line (enable)*,
- O binário do motor está relacionada com a velocidade, mas não relacionado com a posição de revolução,
- Boa aceleração.
- Boa manutenção do torque para altas velocidades

Tabela 6.2.1 – Especificações elétricas do controlador Wantai

Modelo Wantai DQ420MA

Tensão de entrada	12-36VDC
Corrente de entrada	<2A
Corrente de saída	2.83A ~ 0.44A
Consumo	40W;
Temperatura de trabalho	-10 ~ 45 °C
Peso	70 Gramas

Esse controlador híbrido possui um controlador interno que permite a utilização do modo bipolar em *chopper*. O modo *chopper*, conforme citado em 2.5.2.2, permite que uma pré indutância seja aplicada a bobina do motor fazendo que a corrente nominal de trabalho nesta bobina seja atingida num pequeno espaço de tempo. Sabendo-se que a corrente nominal de trabalho permite o torque nominal do motor, se a velocidade com que a mesma é atingida for menor, o motor mantém um maior torque mesmo em altas rotações. Toda via, os controladores que possuem esse tipo de tecnologia são mais complexos e precisam de um controlador interno que subdivida os sinais de passo enviados pelo CPU para cada transístor de controlo, Figura 6.2.2, de modo sincronizado e preciso. Esse fato faz com que os valores deste tipo de controlador sejam mais elevados. Com tudo, com a difusão desse tipo de tecnologia para centro de produção de baixo custo (China, India, Indonésia, Korea.), a utilização desse tipo de controlador é menos dispendiosa.

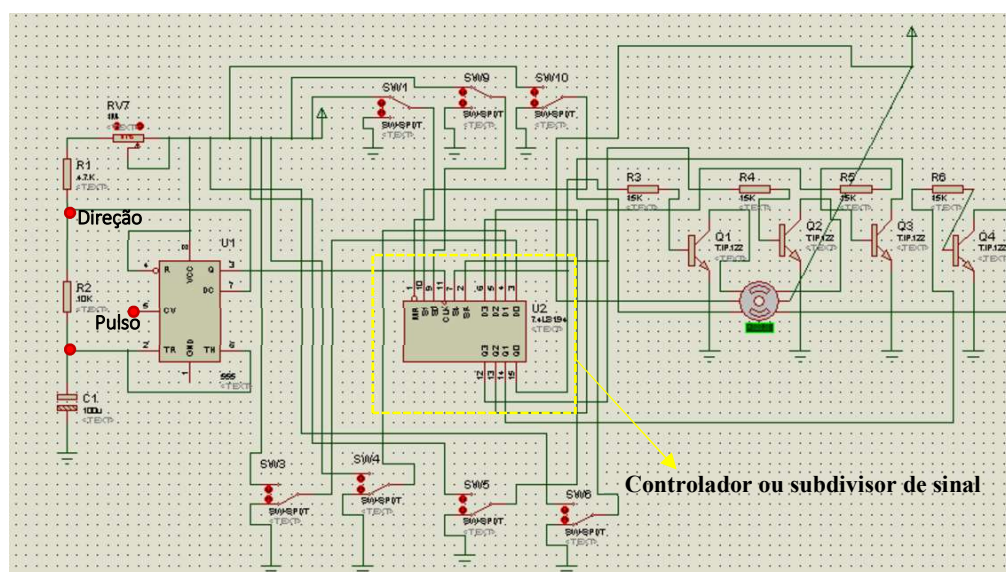


Figura 6.2.2 – Circuito controlador de motor de passo realizado no *Software* Proteus.

Conforme a Figura 6.2.2, o controlador possui seletores de configuração do micro passo que permitem controlar a divisão dos passos fornecidos pela CPU, o circuito não apresenta os seletores de intensidade uma vez que é apenas um circuito ilustrativo pois o fabricante não fornece o circuito original do controlador, provavelmente o controle de intensidade é feito por um circuito integrado que realizaria o trabalho dos transístores de amplificação: Q1,Q2,Q3 e Q4.

6.3 Motores de passo

O motor de passo aplicado é o Wentai 42BYGHW811, motor NEMA17, bipolar com 0,48 N.m de torque.

Tabela 6.3.1 – Dados técnicos Motor Wentai.

Modelo 42BYGHW811	
Medida padrão	NEMA17
Ângulo de passo	1.8 Graus (200passos/volta)
Voltagem nominal	3.1V
Corrente nominal	2.5 A/fase
Resistência	1.25 Ohm/fase
Indutância	1.8 mH/fase
Torque Nominal	4800g-cm 70OZ-IN 0,48N.m
Inercia do rotor	68 g-cm ²
Inercia de paragem	280 g-cm
Número de terminais	4
Peso	0.34 kg
Comprimento	48mm
Diâmetro do veio	8mm

O motor possuía veio duplo de forma que para possibilitar a sua aplicação foi preciso cortar o veio traseiro, toda via a aplicação desse motor não é a mesma aplicação do projeto original uma vez que foi reaproveitado um mecanismo de fresadora CNC já adquirida pela escola para outras aplicações, Figura 6.3.1.



Figura 6.3.1 – Motor de Passo Wentai.

6.4 Placa de adaptação dos fins de curso

Dada ligação da CPU para os fins de curso serem com conectores IDC10 houve a necessidade de uma placa de adaptação de conectores IDC10 para conectores KF301 para terminais que permitisse a ligação dos sensores de fim de curso.. Dessa forma, foi desenhada em *SolidWorks*, uma placa que permitiria a adaptações entre os dois tipos de conectores. Posteriormente as pistas da placa foram desenhadas por uma máquina de corte a laser.

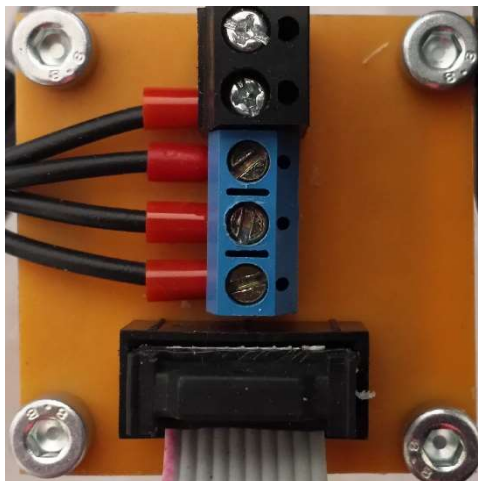


Figura 6.4.1 – Placa de adaptação dos sensores de fim de curso.

A realização do desenho em *solidWorks* foi uma alternativa à utilização de *software* específico para layout de placas eletrônica, uma vez que a necessidade era da fabricação de apenas duas placas, Figura 6.4.2.

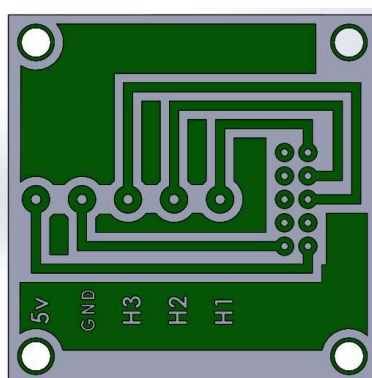


Figura 6.4.2 – Placa dos sensores de fim de curso desenhada em *SolidWorks*.

A utilização do *SolidWorks* demonstrou-se pouco eficiente e demorada. Toda via, para a realização das pistas em laser foi uma escolha acertada uma vez que permite definir as fronteiras das pistas e não a pistas em si, esse fato permite a máquina de corte laser fazer um desenho rápido, sem retirar toda a superfície de tinta que protegeria posteriormente o cobre do corrosivo, Figura 6.4.3.

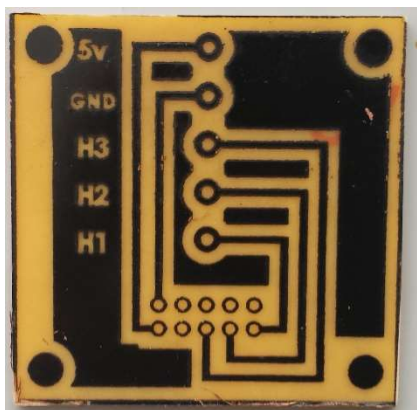


Figura 6.4.3 – Placa de adaptação dos sensores de fim de curso, Layout.

6.5 Instalação do *Pendant* (*Handwheel*)

Pendant é um controlador manual de posicionamento da fresadora que permite deslocar a cabeça de fresagem em cada um dos 3 eixos, X,Y e Z, em 3 diferentes velocidades X1, X10 e X100. O fabricante da CPU, Eding CNC, possui um *Pendant* de conexão USB e um de ligação direta na placa, toda via o *Pendant* fornecido para o Projeto era o modelo HANDWHEEL ISMM1468, apresentado na Figura 6.5.1. A Eding CPU 5B possui entradas analógicas que permitem a ligação de um *Pendant* com seletores de velocidades.



Figura 6.5.1 – *Pendant* modelo ISMM1468.

A seleção dos eixos e das velocidades são realizadas através da tensão que entra nas portas analógicas 2 e 3, toda via o modelo fornecido apresentava apenas seletores de posicionamento conforme o esquema fornecido na Figura 6.5.2.

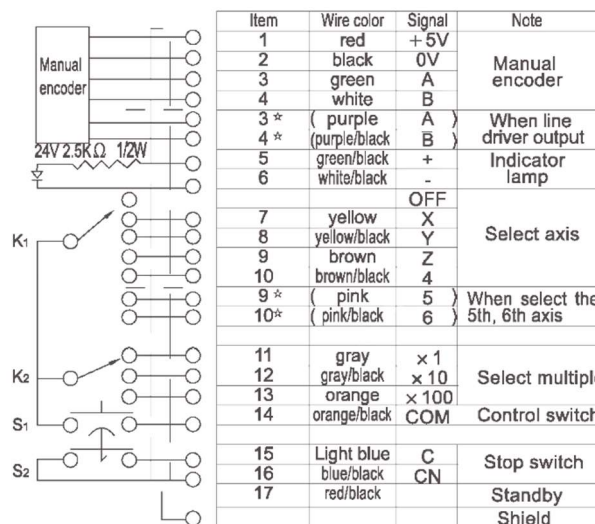


Figura 6.5.2 – Esquema de ligação do Pendant ISMM1468.

A aplicação direta dos terminais do *Pendant* não faria a seleção dos eixos e nem das velocidades uma vez que não há seletores internos de tensão no modelo fornecido. Assim, foi necessário o fabrico de uma placa para fazer a seleção da tensão para as entradas analógicas da CPU. Para tal foi utilizado o *software Proteus*, que permite a simulação de circuitos eletrônicos, de forma a criar com resistores, um seletor de tensão aplicável ao *Pendant*, que permitisse a conexão do mesmo com à entrada IN3 e também à entrada PENDANT do CPU.

6.5.1 Circuito de Adaptação do Pendant

Nos dados técnicos da placa está disponível um esquema de ligações que permite o fabrico de um *Pendant* para a CPU, no entanto a aplicação direta desse esquema não era possível pois o modelo fornecido apresentava um terminal comum entre o os seletores K1 e K2, ligado em série com o botão de controlo (*Control Switch*), conforme apresentado na Figura 6.5.2, toda via, pelas tensões apropriadas pode-se fazer as seleções com um circuito resistivo diferente. Através de pequenos cálculos chegou-se aos valores de tensão para a seleção dos eixos nas entradas analógicas. A Tabela 6.5.1 apresenta os valores calculados para as tensões de seleção dos eixos e das velocidades.

Tabela 6.5.1 – Valores de tensão para seleção dos eixos e das velocidades

Eixo	X	Y	Z	4	off
Tensão	0,55V	1,1V	1,65V	2,2V	0V
Velocidades	X1	X10	X100		
	0V	1,1V	3,3V		

Conforme a Figura 6.5.3 mostra, o Proteus permitiu simular o circuito do eletrónico do *Pendant* para todos os valores de tensão, calculados na Tabela 6.5.1, e consequentemente estabelecer o esquema de ligação do mesmo atendendo as exigência do CPU.

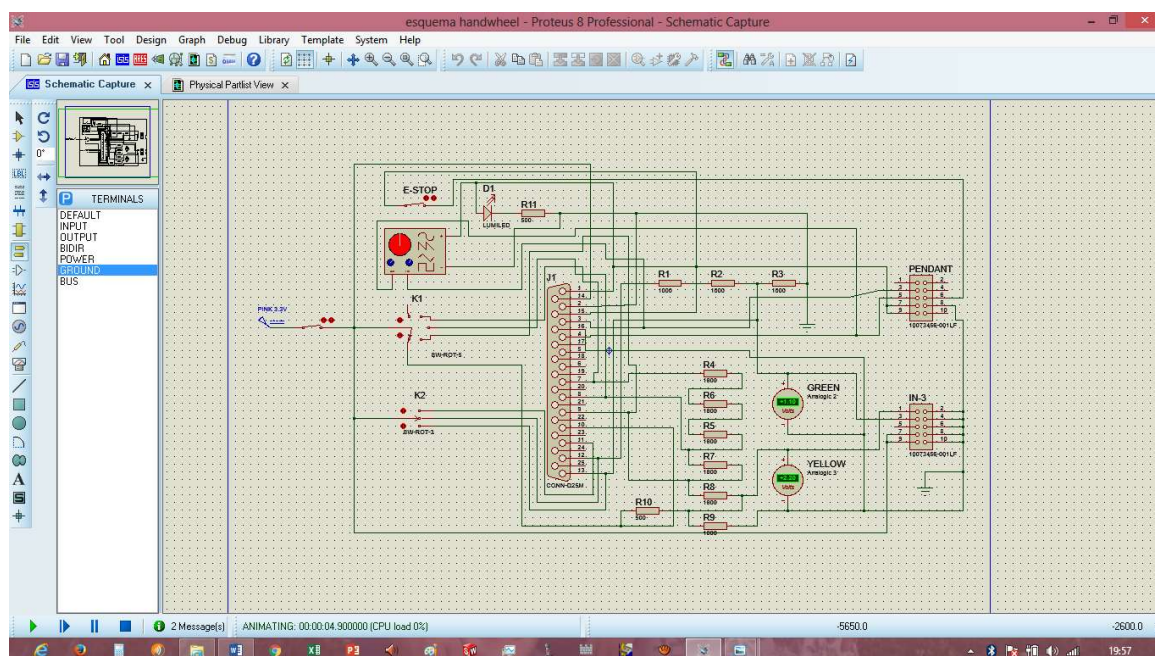


Figura 6.5.3 – Esquema de ligação virtual do *Pendant*, Proteus 8.0

Em sequência ao ensaio do circuito virtual foi montado um circuito real em *Bread Board* para testar a ligação diretamente no circuito de comando, Figura 6.5.4 – Montagem real em *Bread Board*. Figura 6.5.4.

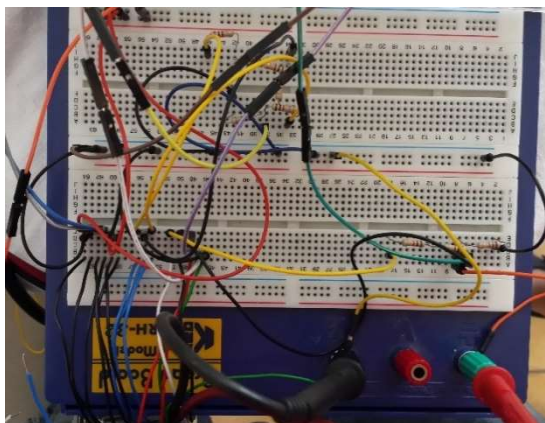


Figura 6.5.4 – Montagem real em *Bread Board*.

Utilizou-se os seguintes componentes:

- Bred Board;
- 9 resistores de 1kOhm;
- Um conector DB25 Fêmea;
- Cabos com terminais IDC de conexão direta;
- Cabos de pinos rígidos para ligação entre os componentes.

Depois de confirmado o funcionamento do circuito resistivo do *pendant*, foi desenhado uma placa de circuito com as pista em alto relevo, em *solidworks*, e realizado o corte da superfície pintada por laser. O resultado foi a placa para motagem do circuito de adaptação do *pendant* apresentada na figura a seguir.

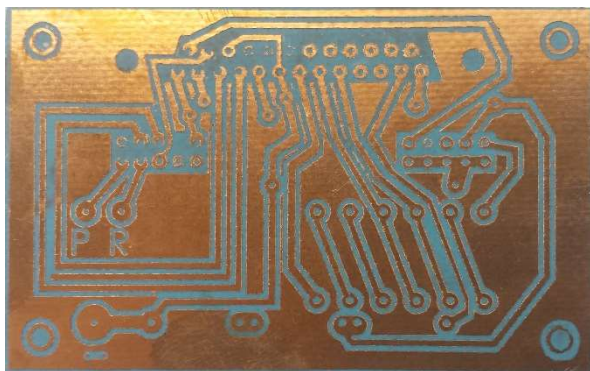


Figura 6.5.5 – Placa do circuito do *pendant* limpa.

Posteriormente, foi realizada a furação da placa pela propria fresador controlada pelo *pendant* ligado ao circuito montado na *bread board*, conforme a Figura 6.5.6. A placa

foi fixada por fita adesiva e o movimento realizado em velocidade média (x10). Esse pequeno trabalho também serviu como ensaio do circuito de contro para movimentos precisos.

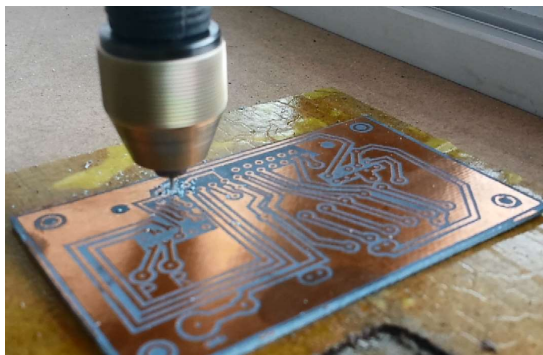


Figura 6.5.6 – Furação da placa do circuito de adaptação do *pendant*.

A soldadura e a montagem dos componentes foram os passos seguintes, a montagem e ensaio. E por fim, a fixação do circuito eletrônico na mesa conforme a

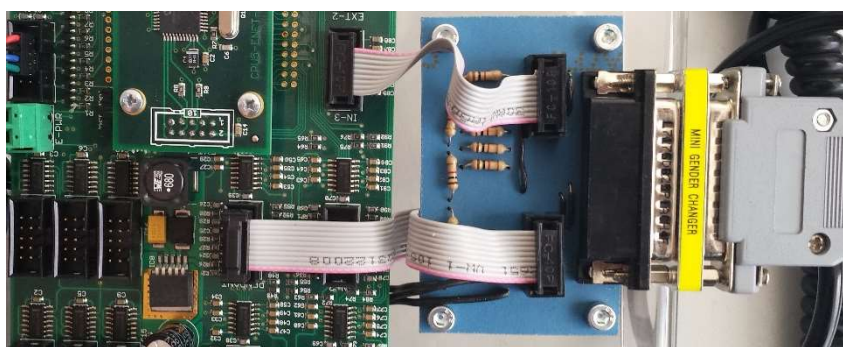


Figura 6.5.7 – Placa de adaptação do *pendant* montada.

6.6 Relé

O *software*, através da CPU que possui saídas de sinal 5V, permite controlar vários acessórios através de relés de 5V, Figura 6.6.1. Esse recurso foi utilizado para controlar o motor da fresadora através da saída 3, IDC10 CNC-OUT do CPU que envia um sinal de 5V a um contato normalmente aberto alimentando o motor com 220V.

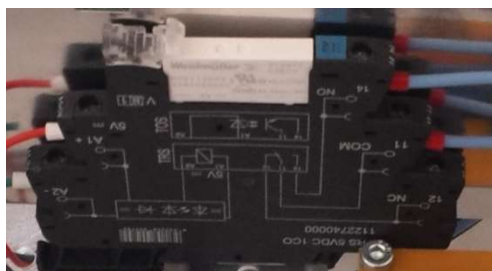


Figura 6.6.1 – Relé 5V

6.7 Botões PAUSE e RUN

A qualquer momento, durante o processo de fresagem o software permite pausar e reiniciar o trabalho. Isso se dá por que os pinos 2 e 4 do conector do *Pendant*, que eram utilizados antes da atualização do *software* do CPU como *PAUSE* e *RUN*, respetivamente; não foram inutilizados com a atualização, porém deixaram de trabalhar com 5V para trabalharem com o GND.

6.8 Esquema de ligação eletroeletrónica

Os esquemas elétricos foram realizados através de *software* dedicado. Embora houvesse um esquema ilustrativo de ligação dos componentes no manual do Eding CNC 4.02, conforme apresentado na Figura 6.8.1. O esquema não está conforme a norma EN 60204-1, que descreve as exigências ao equipamento elétrico de máquinas e instalações, também são descritas medidas contra o contato direto e indireto de peças sob tensão, como codificação por cores de condutores e elementos de operação.

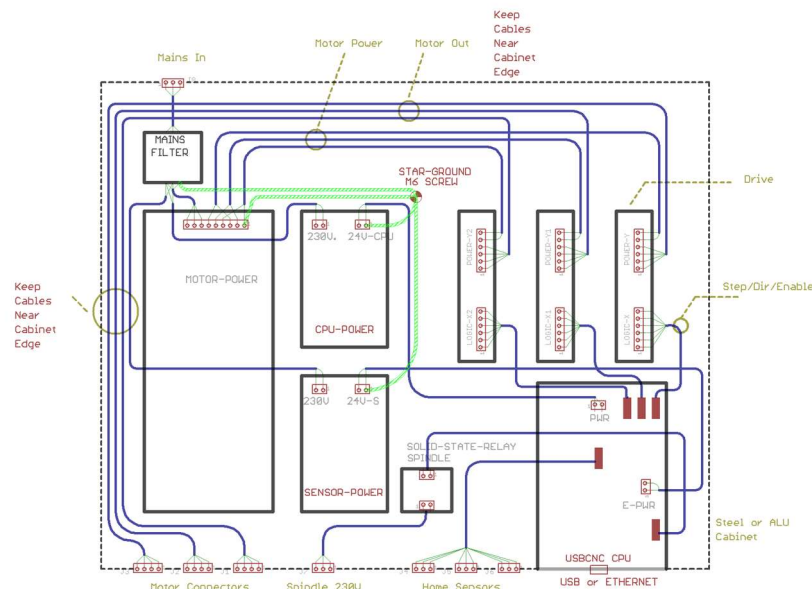


Figura 6.8.1 – Esquema ilustrativo de ligação dos componentes de uma fresadora CNC [9].

A fresadora não é uma máquina de grande porte e não utiliza grande potência, possui uma alimentação monofásica de baixo consumo, toda via, para termos didáticos, foi apresentado um esquema aplicável à máquinas monofásicas de baixo consumo.

6.8.1 Software de desenhos elétricos *QElectric Tech*

QElectric Tech é um *software* gratuito que permite o desenvolvimento de esquemas elétricos segundo os padrões europeus e a aplicação de layout de projetos elétricos. Possui os seguintes recursos:

- **Criação**

Com este programa, o usuário pode criar símbolos elétricos universais ou mesmo símbolos que ele próprio tenha concebido e utilizá-lo nos seus esquemas. Estes podem ser simples ou complexos, de acordo com o utilizador. É possível salvar esses símbolos criados.

- **Impressão**

Qelectro tech oferece a possibilidade de imprimir o diagrama criado. Com os *layouts* mais usuais como: A4, A3, A2, A1 e A0. Permite, também, uma adaptação do quadro de identificação do projeto para adicionar ou eliminar especificidades do mesmo. E adicionar logotipos da empresa ou do usuário.

- **Edição**

É possível modificar um diagrama neste *software*. O usuário pode editar um elemento com a função "arrastar e soltar" do rato. Também é possível editar a ordem do diagrama movendo as guias que os representam. Reorganizar linhas e elementos em função da adição e subtração de outros assim com subdividir esquemas em dois *layouts* distintos.

- **Exportação de diagramas**

Qelectro tech permite exportar um diagrama em formato de imagem. Estes formatos são bitmap, JPEG, PNG e SVG. Também permite a exportação de alguns elementos individuais ou o bloqueio de outros elementos que o usuário não deseja exportar, é uma opção também está disponível.

O processo de desenvolvimento do desenho do esquema elétrico se dá pela interface interativa que possui, no lado esquerdo do ecrã, uma árvore com várias pastas e os conteúdos esquemáticos para cada aplicação, sendo que para utilizá-los basta abrir a pasta e arrastar conforme a Figura 6.8.2.

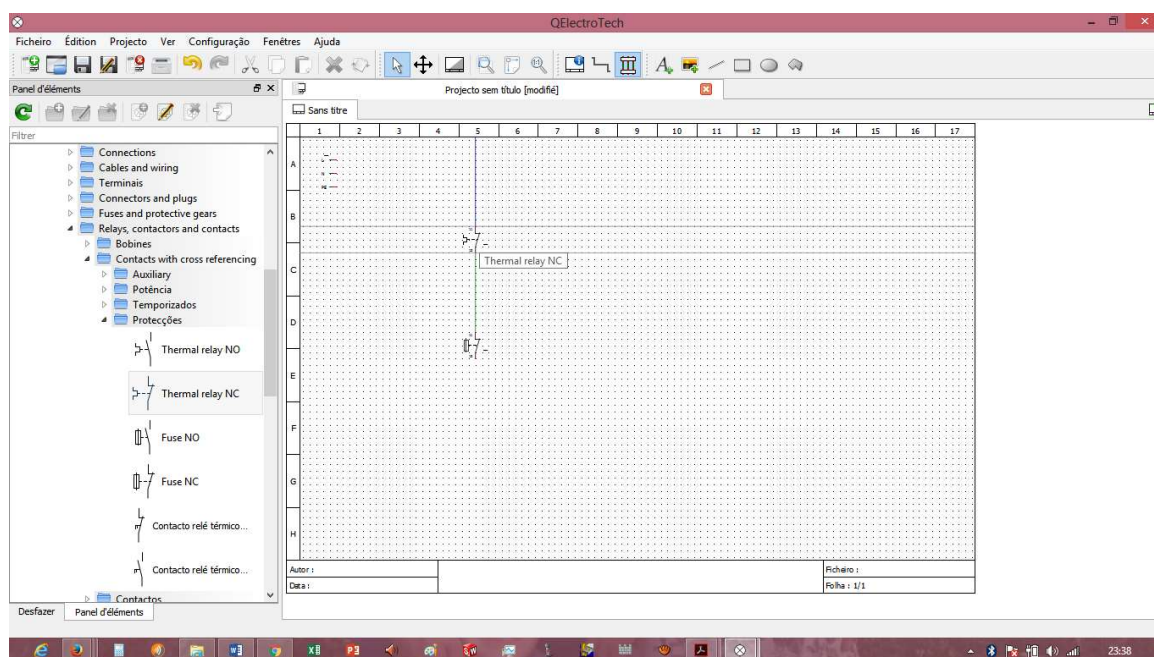


Figura 6.8.2 – Interface do QElectric Tech.

7 ATUALIZAÇÃO DO SOFTWARE

A CPU 5B da Eding CNC foi adquirida cerca de um ano ante do início do projeto. Inicialmente, para testar a fresadora CNC que a escola possuía, foi estabelecido um comando com a CPU, Drivers disponíveis, e uma fonte provisória. Ao proceder o ensaio da CPU, não houve comunicação entre a mesma e o *software* Eding CNC4.02 (ultima versão). Já na versão 4.00 do Eding CNC a conexão foi estabelecida com sucesso e utilizada para a avaliação do mecanismo da fresadora.

Durante o processo de instalação do *Pendant* verificou-se que o esquema fornecido na ficha técnica da CPU, não realizava as funções de seleção e movimento no eixo, e nem seleccionava a velocidade do movimento, no entanto, a CPU estava recebendo os sinais do *pendant*, o que foi verificado através da interface de comunicação do *software*. Assim, foi realizado um processo de atualização do *software* de forma a utilizar o *pendant* adaptado na CPU por uma *bread board*, com o circuito montado conforme citado no título 6.5.1.

7.1 Instalação do *CPU5 Configurator Tool*

Foi instalado, através do sitio da Eding CNC um programa de configuração da CPU o *Configurator tool*, que permite a instalação do *firmware* atualizado na placa através da porta USB. O *software* apresenta uma interface simples, conforme a Figura 7.1.1.

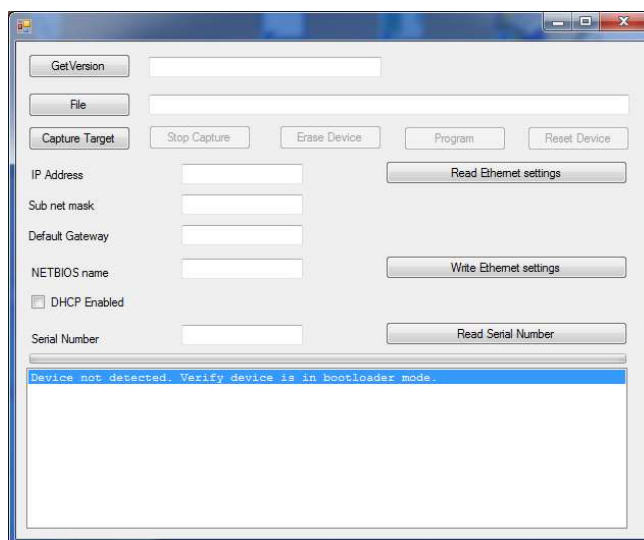


Figura 7.1.1 – Interface do Configurator tool [18].

A Eding CNC fornece dois tipos de *firmware*, um para comunicação entre a CPU e o computador por ligação USB e outra por ligação Ethernet. Neste caso foi instalado o *firmware* para ligação Ethernet, uma vez que a placa possui o circuito de conexão com este tipo comunicação. Cabe citar que a toda a instalação é feita através da porta USB. O *software* identifica a CPU e a versão de *firmware* que possui, Figura 7.1.2.

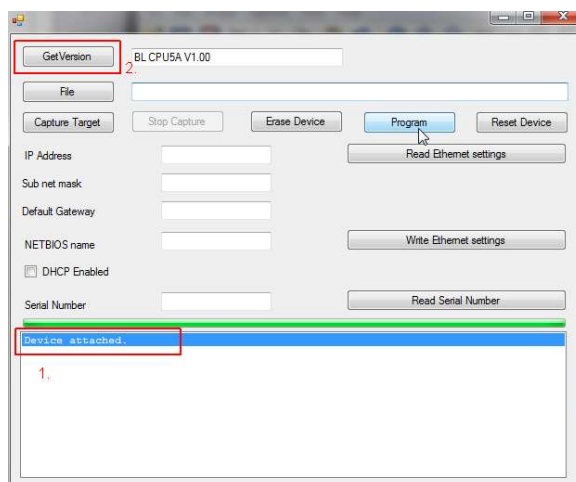


Figura 7.1.2 – Identificação do *firmware* da placa [18].

7.2 Instalação do arquivo de *firmware*

Após estabelecida a comunicação e identificação da placa, no botão file, foi encontrado o arquivo para instalação do arquivo adequado à placas com ligação via Ethernet, anteriormente baixado no sitio da Eding CNC, Figura 7.2.1.

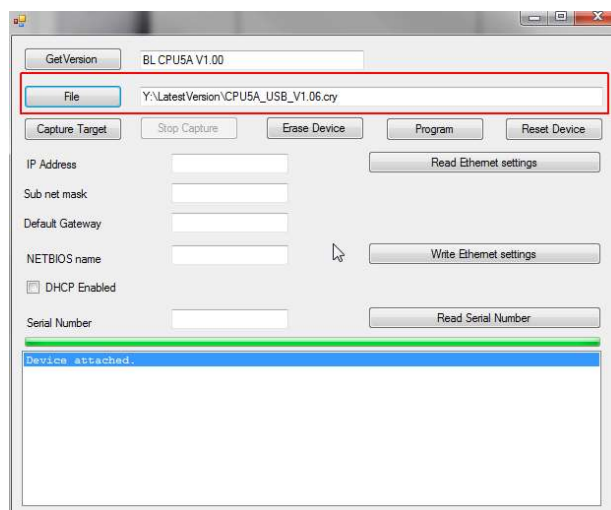


Figura 7.2.1 – Busca do arquivo de *firmware* [18].

Através do botão *Program*, iniciou-se a instalação e no fim do processo apareceu uma mensagem de programação completa conforme mostra Figura 7.2.2.

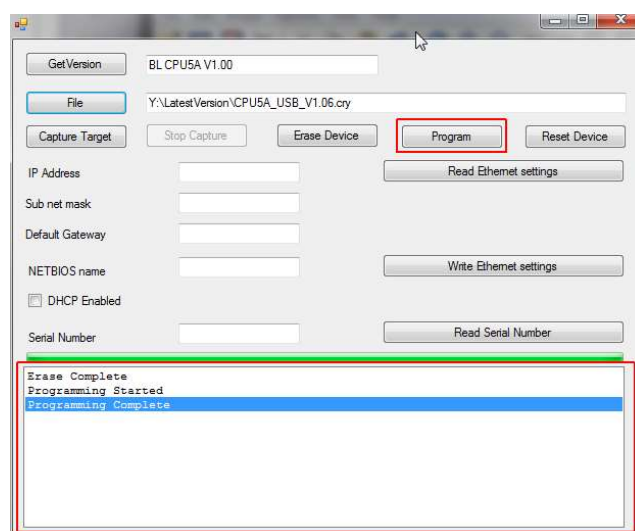


Figura 7.2.2 – Finalização do processo de instalação do *firmware* [18].

Por fim, foi desconectada a porta USB e conectada a porta Ethernet onde o *Configurator tool* configurou a placa para comunicação Ethernet e onde se pode ver o número de série da placa e determinar um nome de identificação para a mesma, Figura 7.2.3.

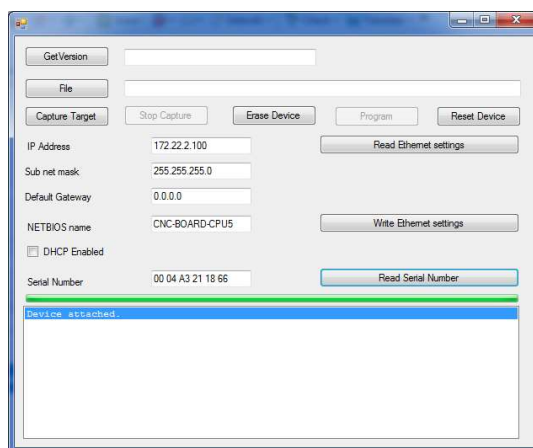


Figura 7.2.3 – Configuração da ligação Ethernet [18].

7.3 Comunicação com a CPU

O passo seguinte foi a configuração do protocolo de comunicação, através da janela de configuração da ligação no Windows foi estabelecido somente o protocolo TCO/IP v4 para a ligação conforme a figura a seguir.

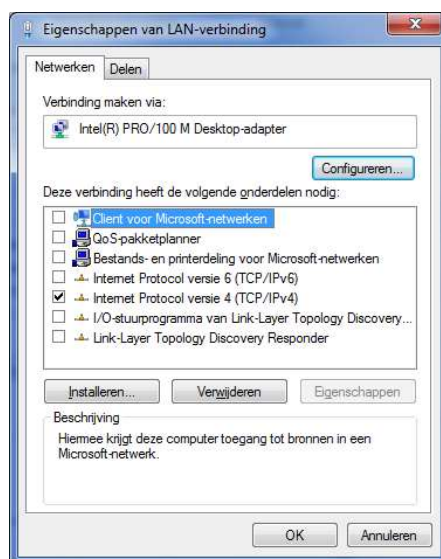


Figura 7.3.1 – Configuração do protocolo de ligação [18].

O próximo passo foi a determinação de um número de IP diferente do número da CPU para permitir a comunicação.

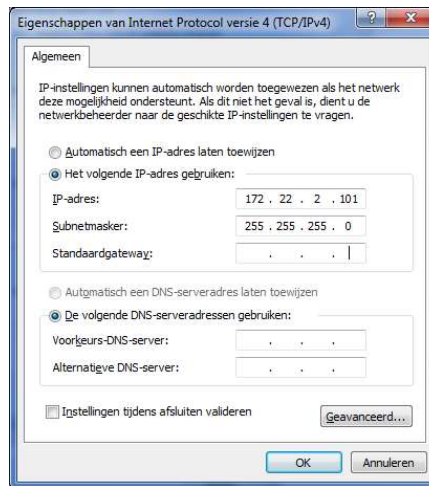


Figura 7.3.2 – Configuração do número do IP da porta de comunicação [18].

Através da janela do prompt de comando foi digitado o comando *ping* e o número de IP da placa e em seguida foi realizada pelo Windows a verificação da comunicação.



Figura 7.3.3 – Prompt de comando do Windows [18].

Todo o processo foi realizado 3 vezes pelo facto de que as 2 primeiras vezes o *firmware* não foi corretamente instalado, assim, somente na terceira instalação foi estabelecida a correta comunicação com a CPU.

8 CÁLCULOS

Para conhecimento das capacidades de fresagem da máquina é necessário o conhecimento das capacidades de transmissão por fuso da potência do motor, para tal foram elaborados os cálculos de transmissão de força partindo da potência do motor fornecido, toda via, os valores das forças de atrito dos mecanismos foram estimados.

8.1 Torque

Para determinação do Torque deve-se levar em consideração, além do esforço para mover a carga, o esforço para rodar o parafuso. Os resultados são diferentes para o movimento vertical ascendente e o movimento vertical descendente, aplicados no eixo Z, e também para os casos de movimento horizontal. Além disso, devem ser analisadas as características geométricas do fuso que será utilizado na transmissão.

A Figura 8.1.1 representa um fuso de potência com rosca quadrada onde está indicado o diâmetro médio (d_m), o passo (p), o ângulo de avanço (λ), o ângulo de hélice (ψ), uma porca e a força axial (F) a que o parafuso está submetido.

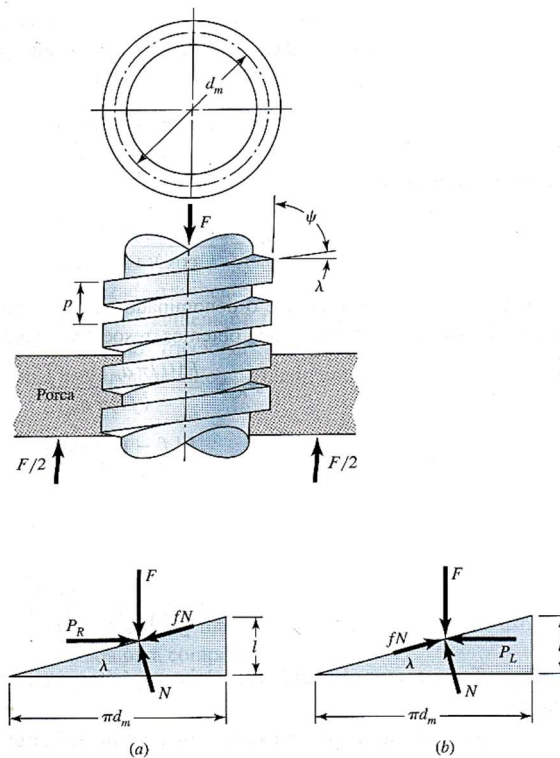


Figura 8.1.1 – Ilustração esquemática das forças aplicadas a um fuso [10].

Também deve ser considerado a força de atrito que é resultado do coeficiente de atrito (f) pela força normal (N) (f_N).

Segundo [10], com a aplicação das condições iniciais e considerando o somatório de forças, obtemos as seguintes equações;

Para o movimento vertical ascendente:

$$P_R = \frac{F \left[\left(\frac{l}{\pi d m} \right) + f \right]}{1 - \left(\frac{f l}{\pi d m} \right)}$$

Onde P_R é a força necessária para o movimento.

$$P_L = \frac{F \left[f - \left(\frac{l}{\pi d m} \right) \right]}{1 + \left(\frac{f l}{\pi d m} \right)}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..1)

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que

**pretende
que
apareça
aqui..2)**

Para o movimento vertical descendente:

Onde P_L é a força necessária para o movimento.

Notando que o torque é o produto da força P (ascendente ou descendente) pelo raio médio $dm/2$, assim sendo aplicasse as seguintes equações;

Para o movimento vertical ascendente:

**(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..3)**

$$T_R = \frac{Fdm}{2} \left[\frac{l + f\pi dm}{\pi dm - fl} \right]$$

Onde T_R é o torque necessário para realizar o movimento

Cabe lembrar que na força F deve ser considerada sempre a massa do conjunto dos mecanismos que realizam o movimento.

Para o movimento vertical descendente:

$$T_L = \frac{Fdm}{2} \left[\frac{f\pi dm -}{\pi dm + f} \right]$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..4)

As equações anteriores são aplicáveis em fusos de rosca quadra e permitem a dedução da aplicação do $\cos \alpha$ para os fusos de rosca trapezoidais, isso se dá pelo fato de que a força é aplicada em um ângulo α em relação ao plano da rosca, Figura 8.1.2. Visto que os ângulos de avanço são pequenos, esta inclinação segundo [10], pode ser desprezada e somente o efeito do ângulo da rosca considerado.

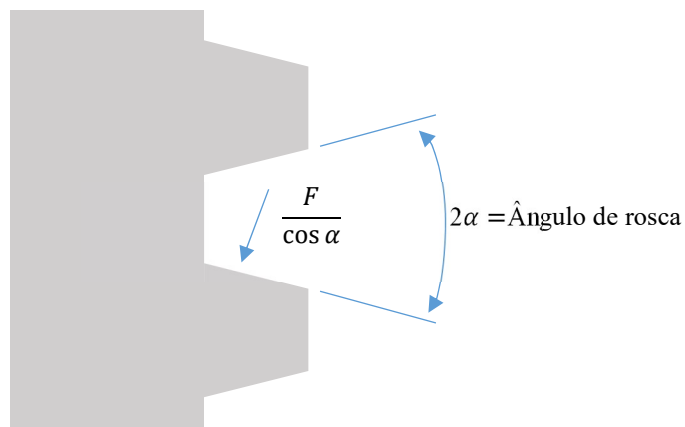


Figura 8.1.2 – Consideração do ângulo de inclinação da rosca trapezoidal.

Assim as Equações (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..5) e (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..6) são aproximações pois o efeito do ângulo de avanço foi desprezado.

$$T_R = \frac{Fdm}{2} \left[\frac{l + f\pi dm \sec \alpha}{\pi dm - fl \sec \alpha} \right]$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..5)

$$T_L = \frac{Fdm}{2} \left[\frac{f\pi dm \sec \alpha - l}{\pi dm + fl \sec \alpha} \right]$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..6)

As equações apresentadas são para movimentos não acelerados e foram consideradas pelo fato de que durante a maquinação a máquina apresentará aceleração somente nas mudanças de ângulo. Toda via, cabe lembrar que a aceleração deverá ser sempre considerada para o cálculo da força, uma vez que a 2ª lei de Newton assim o determina.

Deduz-se, das Equações (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..5) e (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..6), as seguintes equações em relação a força:

$$F = T_R \frac{dm}{2} \left[\frac{l + f\pi dm \sec \alpha}{\pi dm - fl \sec \alpha} \right]$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..7)

$$F = T_L \frac{dm}{2} \left[\frac{f\pi dm \sec \alpha - l}{\pi dm + fl \sec \alpha} \right]$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..8)

O sistema de forças para um movimento horizontal de um determinado corpo através de um parafuso de potência com rosca quadrada, que também deverá estar na horizontal, está representado na Figura 8.1.3. A Figura 8.1.3a apresenta todas as forças envolvidas, a força de atrito (F_{at}) entre o parafuso e a porca, a força normal (N), a força (F_h) necessária para rodar o parafuso e mover uma carga horizontalmente e a força de atrito (F_{atc}) da carga que será movida em relação à superfície em que estará apoiada e/ou até mesmo guiada. A Figura 8.1.3b apresenta as componentes das forças que estão inclinadas em relação à vertical e/ou em relação à horizontal.

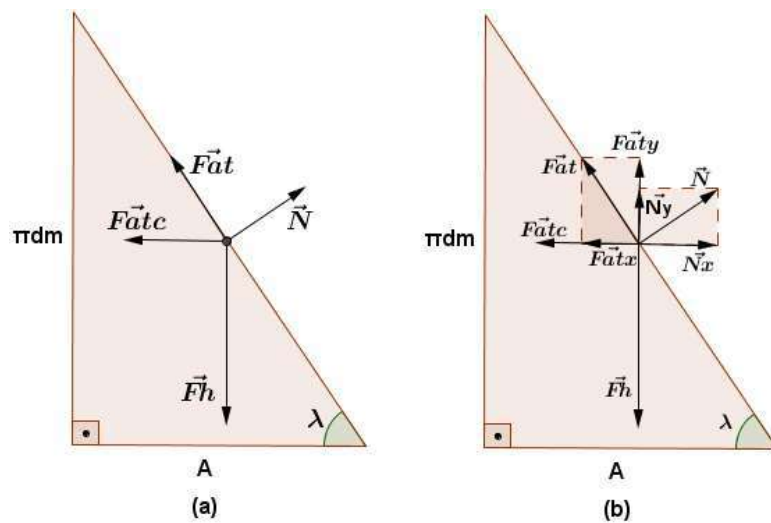


Figura 8.1.3 – Diagrama de forças que atuam num parafuso de potência com rosca quadrada para movimento horizontal [17]

Com base na Figura 8.1.3b, aplicando a segunda lei de Newton e tendo em consideração apenas as forças verticais, então:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$F_h - N_y - F_{aty} = m \cdot a$$

(Erro!
 Utilize o
 separador
 Base para
 aplicar
 Título 2
 ao texto
 que
 pretende
 que

apareça
aqui..9)

Com a separação das componentes em função de seno e cosseno, e solando a força normal (N) obtém-se a Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..10).

$$N = \frac{Fh - m.a}{\sin\lambda + \mu\cos\lambda}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..10)

Com o mesmo procedimento para as forças horizontais da Figura 8.1.3b, e separando as componentes em função de seno e cosseno, chega-se a Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..12).

$$N\cos\lambda - \mu N\sin\lambda - \mu_c Nc = m.ap$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que

apareça
aqui..11)

Onde μc é o coeficiente de atrito entre o corpo que se deslocará e a superfície de apoio, μ é o coeficiente de atrito entre o parafuso, ap é a aceleração no perímetro da rosca, e Nc a porca e a força normal referente ao corpo que se deslocará horizontalmente, sendo que essa força normal é igual à força peso dada por $R=mg$.

Substituindo a Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..10) na Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..11), isolando a força Fh e reorganizado conforme as deduções anteriores obtêm-se a Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..12) que representa a força (Fh) para rodar o parafuso e assim deslocar a carga horizontalmente.

$$Fh = m \cdot ap + m \cdot \frac{(ap + \mu c g) \cdot (\mu \pi d m + A)}{\pi d m - \mu A}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..12)

Consequentemente, chega-se à Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..13) que representa o torque necessário para rodar o parafuso e assim deslocar a carga horizontalmente.

$$Mt = \left[m \cdot ap + m \cdot \frac{(ap + \mu cg) \cdot (\mu \pi dm + A)}{\pi dm - \mu A} \right] \cdot \frac{dm}{2}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..13)

A Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..13) representa o cálculo do torque para parafusos com roscas quadradas onde as forças normais são paralelas ao eixo do parafuso. No caso de roscas trapezoidais, Figura 8.1.2 – Consideração do ângulo de inclinação da rosca trapezoidal., ou outros tipos de roscas, a força de resistência fica inclinada em relação ao eixo do parafuso devido ao ângulo de rosca (2α) e ao ângulo de avanço (λ). Como o ângulo de avanço é muito menor que o ângulo da rosca, então ele pode ser desprezado e o efeito desse ângulo é de aumentar a força de resistência devido à ação de calço da rosca, pois aumenta a força normal nos filetes, Figura 8.1.2, e consequentemente a força de atrito [11]. Fazendo uma dedução similar às do parafuso com rosca quadrada, obtém-se as Equações (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..14),(Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..15) e (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..16), que representam os torques aproximados (porque está a ser considerado desprezível o ângulo de avanço) no movimento vertical ascendente, descendente e horizontal respetivamente, para um parafuso de rosca Acme padrão americano.

$$Mt = \left[m \cdot ap + m \cdot \frac{(ap + R) \cdot (\mu \pi dm \cdot \sec \alpha + A)}{\pi dm - \mu A \cdot \sec \alpha} \right] \cdot \frac{dm}{2}$$

(Erro!
Utilize o

$$Mt = \left[m \cdot ap + m \cdot \frac{(ap + R) \cdot (\mu \pi dm \cdot \sec \alpha - A)}{\pi dm + \mu A \cdot \sec \alpha} \right] \cdot \frac{dm}{2}$$

$$Mt = \left[m \cdot ap + m \cdot \frac{(a + \mu cg) \cdot (\mu \pi dm \cdot \sec \alpha + A)}{\pi dm - \mu A \cdot \sec \alpha} \right] \cdot \frac{dm}{2}$$

separador

Base para

aplicar

Título 2

ao texto

que

pretende

que

apareça

aqui..14)

(Erro!

Utilize o

separador

Base para

aplicar

Título 2

ao texto

que

pretende

que

apareça

aqui..15)

(Erro!

Utilize o

separador

Base para

aplicar

Título 2

ao texto

que

pretende

que

apareça
aqui..16)

Como para o projeto o torque é definido pelos os motores já adquiridos, deduz-se as Equações (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..15) e (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..16) em função da força m para movimento vertical descendente e horizontal, respetivamente:

$$m = \frac{Mt. 2}{dm.ap + dm. \frac{(ap + R). (\mu\pi dm. \sec \alpha - A)}{\pi dm + \mu A. \sec \alpha}}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..17)

$$m = \frac{Mt. 2}{dm.ap + dm. \frac{(ap + \mu cg). (\mu\pi dm. \sec \alpha + A)}{\pi dm - \mu A. \sec \alpha}}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que

apareça

aqui..18)

Para parafusos de potência, a rosca Acme não é tão eficiente quanto à quadrada, devido à fricção adicional decorrente da ação de calço (ou cunha), mas frequentemente é preferida por ser mais fácil de usinar e por permitir o uso de uma porca de partida, que pode ser ajustada para compensar o desgaste [10].

8.2 Inércia

Para a inércia do fuso deve-se considerar a massa específica do aço de 7860kg/m^3 multiplicada pelo momento de inércia de um cilindro I que é $\pi D^4/32$ e pelo comprimento, retirando a percentagem da massa perdida na rosca. Assim, segundo [5], pode-se determinar a inércia do fuso pela Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..1).

$$I_c = 761D^4L$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..1)

Onde I_c é a inércia em kg.m^2 , D é o diâmetro em m e L é o Comprimento em m.

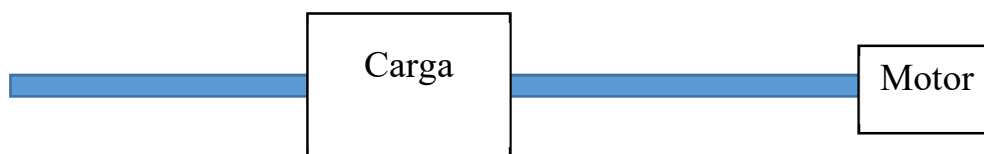


Figura 8.2.1 – Esquema Motor carga

Para a inércia do movimento nos eixos também deve ser considerada a massa dos componentes que formam todo o mecanismo. Por exemplo para o eixo Y deve ser considerado a massa dos suportes, das guias, do motor e suporte da fresadora, dos motores do eixo X e Z, rolamentos e veios. Já para a inércia do eixo X considera-se os componentes do mecanismo do eixo Z, e em Z considera-se a massa do suporte da fresadora e a Gravidade, uma vez que esse peso é favorável ao processo de furação e maquinação.

8.3 Aceleração

O parâmetro que ainda resta encontrar é a aceleração. Conhecendo as máquinas vendidas comercialmente, encontram-se uma velocidade máxima de trabalho na ordem de 3000 mm/min para motores semelhantes ao Wantai 42BYGHW811. Esse valor corresponde a 3 mm em 60ms, ou seja, 1 passo a cada 60ms, ou ainda 1000 rpm. Sabendo que o movimento do eixo possui um perfil trapezoidal, ou seja, parte da velocidade zero e aumenta linearmente até a velocidade máxima, depois mantém a velocidade constante e posteriormente começa a decair linearmente até a parada, é possível determinar a aceleração pela Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..1). A Figura 8.3.1 mostra um gráfico do movimento com perfil trapezoidal.

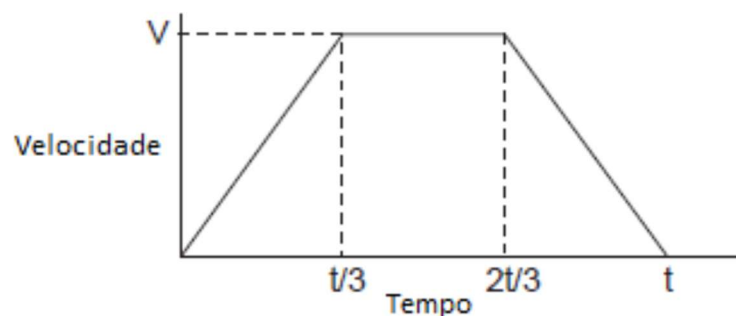


Figura 8.3.1 – Gráfico do movimento com perfil trapezoidal. [5]

Cabe lembrar que o maior esforço no motor ocorre no processo de aceleração, sendo que nos restantes processos o motor estabelece um menor uso do torque, e consequentemente, libertando uma maior força útil, força essa que é o objetivo dos cálculos realizados. Desta forma, deve-se encontrar a aceleração máxima para determinar a força útil disponível. A Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..1) apresenta a aceleração em função da variação da velocidade pela variação do tempo partindo de uma velocidade inicial zero e um tempo inicial também nulo.

$$ac = \frac{V_{max}}{t}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para

aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..1)

Onde ac é a aceleração em m/s^2 , V_{max} é a velocidade máxima em m/s e t é o tempo em segundos.

Toda via, as equações apresentadas relacionam as forças pelo movimento da carga sobre a rosca, por isso a aceleração a ser considerada nas equações (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..17) e (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..18) é a ap , aceleração no perímetro da rosca.

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..2)

$$ap = \frac{n \cdot \pi dm}{60 \cdot t}$$

8.4 Força útil em X

Para o cálculo da força útil (m) em no eixo X foram considerados os seguintes valores:

Tabela 8.4.1 – Valores considerados para os cálculos do eixo X.

Dados	símbolo	valor	Tipo de unidade
Rotações	n	1000	rpm
Tempo de aceleração	t	0,5	s
Peso da estrutura	px	2,8	kg
Comprimento do fuso	L	0,3	m
Diâmetro do fuso	D	0,012	m
Diâmetro médio	Dm	0,011	m
Passo	A	0,003	m
Ângulo da rosca	α	15	Graus
Torque do motor	Mt	0,47	Nm
Atrito de contato da guia	μc	0,03	
Atrito do fuso	μ	0,08	
Gravidade	g	10	m/s ²

Velocidade máxima:

$$V_{max} = A \cdot \frac{n}{60} = 0,003 \cdot \frac{1000}{60}$$

$$V_{max} = 0,05 \text{ m/s}$$

Aceleração:

$$ac = \frac{V_{max}}{t} = \frac{0,05}{0,5}$$

$$ac = 0,1 \text{ m/s}^2$$

Aceleração no perímetro:

$$ap = \frac{n \cdot \pi dm}{60 \cdot t} = \frac{1000 \cdot \pi \cdot 0,011}{60 \cdot 0,5}$$

$$ap = 1,152 \text{ m/s}^2$$

Força perdida pela inércia do fuso:

Em documentos consultados normalmente não se calcula a inércia do fuso. Toda via, a relação do peso do fuso com a força do motor não será ignorada uma vez que, para grandes projetos, a inércia da massa do fuso, durante a aceleração, absorve uma parte do torque do motor e consequentemente diminui a força útil do eixo. Sendo assim a aplicação do cálculo se faz necessária por razões didáticas. Segundo [5], o torque pode ser dado pela equação:

$$T_f = 2\pi \cdot I_c \cdot \omega$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..1)

Onde ω é a aceleração dada em rot/s^2 .

Aplicando a Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..1) na Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..1) e sabendo $\omega = n/60 \cdot t^2$, em que n é dado em rotações por minuto, temos:

$$T_f = 2\pi \cdot 761 D^4 L \cdot \frac{n}{60 \cdot t^2}$$

$$T_f = 2\pi \cdot 761 \cdot 0,012^4 \cdot 0,3 \cdot \frac{1000}{60 \cdot 0,5^2}$$

$$T_f = 0,00198 \text{ N.m}$$

Assim a força perdida pela inércia do fuso mf é:

$$mf = Tf \div \frac{D}{2} = 0,00198 \div \frac{0,012}{2}$$

$$mf = 0,33 \text{ N}$$

Força perdida pela inércia da estrutura:

$$me = px \cdot g \cdot ac = 2,8 \cdot 10 \cdot 0,1$$

$$me = 2,8 \text{ N}$$

Força gerada pelo motor:

Aplicando a Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..18);

$$m = \frac{Mt \cdot 2}{dm \cdot ap + dm \cdot \frac{(ap + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot dm \cdot \sec \alpha + A)}{\pi \cdot dm - 0,08 \cdot 0,003 \cdot \sec 15}}$$

$$m = \frac{0,47 \cdot 2}{0,011 \cdot 1,152 + 0,011 \cdot \frac{(1,152 + 0,03 \cdot 10) \cdot (0,08 \cdot \pi \cdot 0,011 \cdot \sec 15 + 0,003)}{\pi \cdot 0,011 - 0,08 \cdot 0,003 \cdot \sec 15}}$$

$$m = 61,03 \text{ N}$$

A força útil no eixo X é o resultado da força gerada m , menos as força perdidas no fuso m_f , e na estrutura, m_e :

$$m_{\text{útil}} = m - m_f - m_e$$

$$m_{\text{útil}} = 61,03 - 0,33 - 2,8$$

$$m_{\text{útil}} = 57,9 \text{ N}$$

A Figura 8.4.1 apresenta um gráfico que relaciona o tempo de aceleração e a força útil para o eixo X. Como se pode observar, quanto menor o tempo para atingir a rotação máxima, menor a força útil a ser utilizada no processo de maquinação.

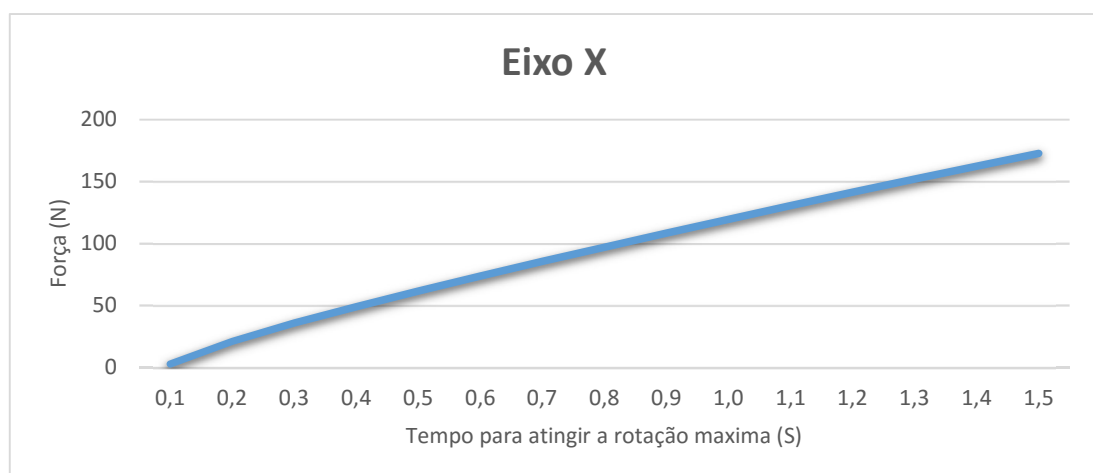


Figura 8.4.1 – Gráfico Força vs Tempo de aceleração eixo X.

Para tempos abaixo de 0,2 segundos a força útil passa a ser negativa e o movimento do eixo deixa de ser viável.

8.5 Força útil em Y

Para os cálculos do eixo Y foram considerados as seguintes variáveis:

Tabela 8.5.1 – Valores considerados para os cálculos do eixo Y.

Dados	símbolo	valor	Tipo de unidade
Rotações	n	1000	rpm
Tempo de aceleração	t	0,5	s
Peso da estrutura	py	4,8	kg
Comprimento do fuso	L	0,5	m
Diâmetro do fuso	D	0,012	m
Diâmetro médio	Dm	0,011	m
Passo	A	0,003	m
Ângulo da rosca	α	15	Graus
Torque do motor	Mt	0,47	Nm
Atrito de contato da guia	μc	0,03	
Atrito no fuso	μ	0,08	
Gravidade	g	10	m/s ²

Considerando a aplicação dos mesmos valores para o eixo Y, com exceção comprimento do eixo (L) de 0,5m, o peso da estrutura (py) de 4,8 kg, e sabendo que o motor aplicado apresenta o mesmo torque, temos:

Força perdida pela inércia do fuso:

$$Tf = 2\pi \cdot 761 D^4 L \cdot \frac{n}{60 \cdot t^2}$$

$$Tf = 2\pi \cdot 761 \cdot 0,012^4 \cdot 0,5 \cdot \frac{1000}{60 \cdot 0,5^2}$$

$$Tf = 0,0033 \text{ N.m}$$

Assim, a força perdida pela inércia do fuso mf é:

$$mf = Tf \div \frac{D}{2} = 0,0033 \div \frac{0,012}{2}$$

$$mf = 0,55 \text{ N}$$

Força perdida pela inércia da estrutura:

$$me = py \cdot g \cdot ac = 4,8 \cdot 10 \cdot 0,1$$

$$me = 4,8 \text{ N}$$

A força útil no eixo Y é:

$$m_{\text{útil}} = m - m_f - m_e$$

$$m_{\text{útil}} = 57,53 - 0,55 - 4,8$$

$$m_{\text{útil}} = 52,2 \text{ N}$$

Assim podemos observar através da Figura 8.5.1 que o eixo Y apresenta uma maior redução da força útil para maiores acelerações.

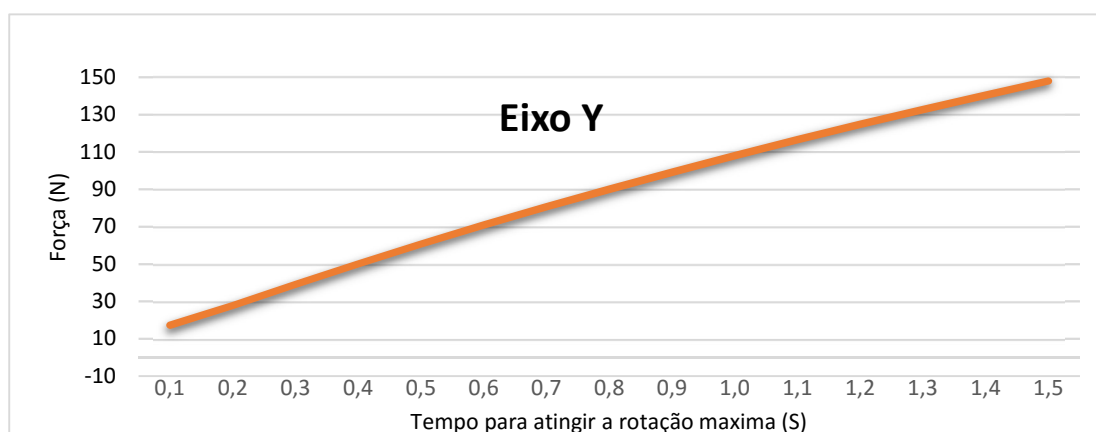


Figura 8.5.1 – Gráfico Força vs Tempo de aceleração eixo Y.

Cabe lembrar que o *software* de controlo permite definir a aceleração em cada eixo individualmente, permitindo uma compensação da perda de força pela diminuição da aceleração.

8.6 Força útil em Z

Para o cálculo do eixo Z, como o movimento de fresagem é vertical devemos considerar a Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..17), que relaciona o peso da estrutura e do motor da fresa para a maquinação.

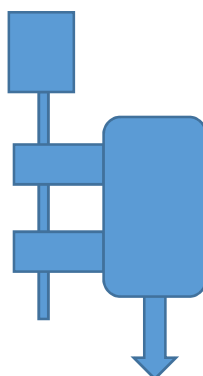


Figura 8.6.1 – Efeito da gravidade no eixo Z

Como mostra a Figura 3.2.1, o efeito de gravidade auxilia o processo de maquinação pela força da estrutura aplicada ao sentido descendente da fresa, que é a forma usual de maquinação, em alguns trabalhos muito específicos existem o movimento ascendente de fresagem, toda via não será necessário os cálculos para o mesmo uma vez que não é essa a aplicação para esse tipo de fresadora.

Tabela 8.6.1 – Valores considerados para os cálculos do eixo Z.

Dados	símbolo	valor	Tipo de unidade
Rotações	n	1000	rpm
Tempo de aceleração	t	0,5	s
Peso da estrutura	pz	1,6	kg
Comprimento do fuso	L	0,25	m
Diâmetro do fuso	D	0,012	m
Diâmetro médio	Dm	0,011	m
Passo	A	0,003	m
Ângulo da rosca	α	15	Graus
Torque do motor	Mt	0,47	Nm
Atrito de contato da guia	μc	0,03	
Atrito	μ	0,08	
Gravidade	g	10	m/s ²

E novamente, tendo em consideração os mesmos valores para o eixo Z, com exceção do comprimento do eixo (L) de 0,25m, o peso da estrutura (px) de 1,6 kg, conforme apresenta a Tabela 8.6.1. Sabendo que o motor aplicado apresenta o mesmo torque, temos:

Força perdida pela inércia do fuso:

$$Tf = 2\pi \cdot 761 D^4 L \cdot \frac{n}{60 \cdot t^2}$$

$$Tf = 2\pi \cdot 761 \cdot 0,012^4 \cdot 0,25 \cdot \frac{1000}{60 \cdot 0,5^2}$$

$$Tf = 0,0017 \text{ N.m}$$

Assim a força perdida pela inércia do fuso mf é:

$$mf = Tf \div \frac{D}{2} = 0,0017 \div \frac{0,012}{2}$$

$$mf = 0,28 \text{ N}$$

Força perdida pela inércia da estrutura:

$$me = py \cdot g \cdot ac \quad 1,6 \cdot 10 \cdot 0,1$$

$$me = 4,8 \text{ N}$$

Força gerada pelo motor, aplicando a Equação (Erro! Utilize o separador Base para aplicar Título 2 ao texto que pretende que apareça aqui..17).

$$m = \frac{Mt.2}{dm.ap + dm. \frac{(ap + R).(\mu\pi dm. \sec \alpha - A)}{\pi dm + \mu. \sec \alpha}}$$

$$m = \frac{0,47 \cdot 2}{0,011 \cdot 1,152 + 0,011 \cdot \frac{(1,152 + 1,6 \cdot 10) \cdot (0,08 \cdot \pi \cdot 0,011 \cdot \sec 15 - 0,003)}{\pi \cdot 0,011 + 0,08 \cdot 0,003 \cdot \sec 15}}$$

$$m = 78,83 \text{ N}$$

A Figura 8.6.2 apresenta o gráfico ilustrativo para o eixo Z em movimento descendente. Nota-se que a curva tem uma leve pendencia ascendente que, ao contrário das curvas anteriores, revela um apoio do peso da estrutura no processo de maquinação descendente.

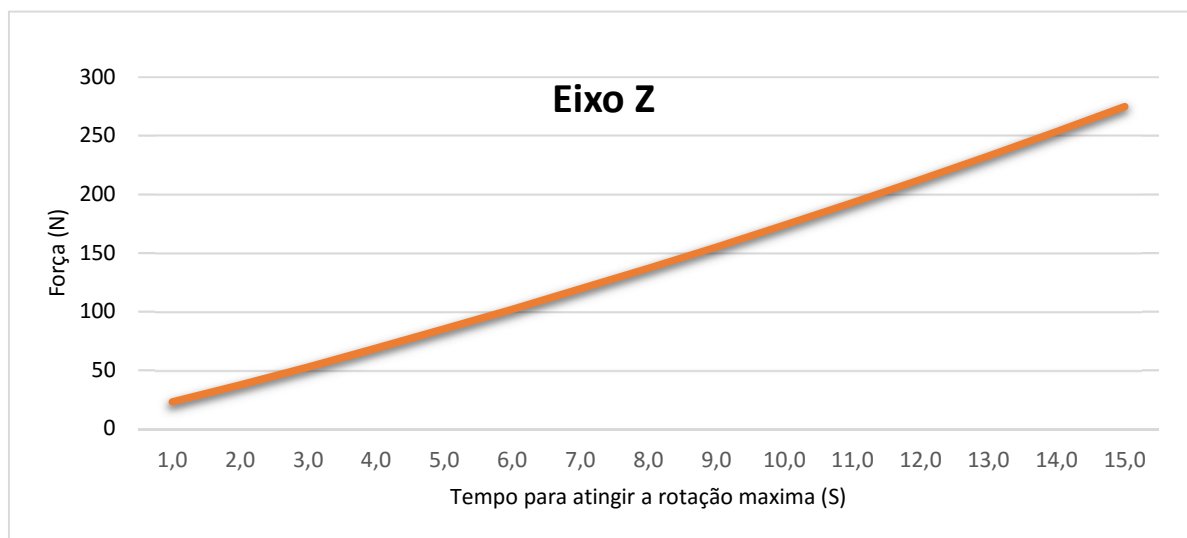


Figura 8.6.2 – Gráfico Força vs Tempo de aceleração eixo Z

8.7 Cálculos de potência

Para trabalhos em que a velocidade é constante deve-se dimensionar a força útil pela potência, gerada pelo motor aplicada ao fuso, relacionada com a velocidade. Segundo [12], a potência (P) é dada pela seguinte equação:

$$P = \frac{Mt \cdot \pi \cdot n}{30}$$

Assim a potência gerada pelo motor é:

$$P = \frac{0,47 \cdot \pi \cdot 1000}{30}$$

$$P = 49,22 \text{ W}$$

Para encontrar a força útil é preciso encontrar a eficiência (ε) do fuso. Segundo [13] a eficiência é dada pela equação:

$$\varepsilon = \frac{\cos(\alpha) - \mu \cdot \frac{A}{\pi dm}}{\cos(\alpha) + \mu \cdot \frac{\pi dm}{A}}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..1)

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que

**pretende
que
apareça
aqui..2)**

$$\varepsilon = \frac{\cos(15) - 0,08 \cdot \frac{0,003}{\pi \cdot 0,011}}{\cos(15) + 0,08 \cdot \frac{\pi \cdot 0,011}{0,003}}$$

$$\varepsilon = 0,5$$

Segundo [12], a potência de saída (P_s) é dada pela divisão da potência do motor (P) pela eficiência do fuso (ε).

**(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..3)**

$$P_s = \frac{P}{\varepsilon}$$

$$P_s = \frac{49,22}{0,5}$$

$$P_s = 98,44 \text{ W}$$

Sabendo que:

$$Ps = (mt + p \cdot g) \cdot v$$

Onde a massa da estrutura (p) deve ser considerada.

Assim temos que a força tangencial útil (mt) em processos não acelerados é:

$$mt = \frac{Ps - p \cdot g \cdot v}{v}$$

Onde a velocidade (v) é igual a velocidade máxima (V_{max}).

Para o eixo X:

$$mt = \frac{98,44 - 2,8 \cdot 10 \cdot 0,05}{0,05}$$

$$mt = 1940,8 \text{ N}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..4)

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..5)

Sabendo que a relação da força tangencial útil (mt) e a força útil (m) é o seno do ângulo de rosca (α).

$$m = mt \cdot \sin \alpha$$

$$m = 1940,8 \cdot \sin 15$$

$$m = 502,1 \text{ N}$$

Para o eixo Y:

$$mt = \frac{98,44 - 4,8 \cdot 10 \cdot 0,05}{0,05}$$

$$mt = 1920,8 \text{ N}$$

$$m = 1920,8 \cdot \sin 15$$

$$m = 497,1 \text{ N}$$

Para o eixo Z:

$$mt = \frac{98,44 + 1,6 \cdot 10 \cdot 0,05}{0,05}$$

$$mt = 1984,8 \text{ N}$$

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..6)

$$m = 1984,8 \cdot \sin 15$$

$$m = 513,7 \text{ N}$$

9 RECUPERAÇÃO DA FREZADORA (*DOWNGRADE*)

Diante da progressiva necessidade diminuição de custos do projeto, optou-se pelo reaproveitamento de uma fresadora CNC Colimbus, modelo CPR-30 PCB/HF, cujo sistema de controlo estava danificado, sendo então necessário a construção de novo sistema de comando de forma a permitir a utilização da mesma, esse processo também é conhecido como *downgrade*. Assim determinou-se que o melhor seria uma reavaliação dos mecanismos de fresagem e para determinar sua recuperação e seu reaproveitamento neste projeto, fazendo desnecessária a construção de uma nova estrutura.



Figura 8.7.1 – Fresadora CNC Colimbus modelo CPR-30 PCB/HF, fonte
<http://alphaimager.tradeindia.com>, acesso em 05/07/16.

9.1 Recuperação dos fusos

Durante o primeiro ensaio da CPU foi estabelecida uma primeira tentativa de conexão com a fresadora. Neste ensaio notou-se que o eixo Z não realizava o trabalho. Consequentemente houve a necessidade de desmontagem do eixo e na verificação do fuso verificou-se um empeno que impedia o funcionamento correto do mesmo. O fuso foi verificado pelo professor Doutor Jorge Antunes, e sob sua orientação foi realizada uma soldadura na ponta excêntrica do veio de forma a permitir sua posterior maquinação e correção da excentricidade. Realizado esse processo, o veio foi montado e verificado conforme a Figura 9.1.1. O mesmo processo foi realizado no fuso do eixo Y desmontado,

onde verificou-se também uma pequena excentricidade. Houve uma maquinação nos outros fusos devido a substituição dos motores de forma encurtá-los para permitir a instalação dos novos motores.



Figura 9.1.1 – Fuso do eixo Z montado.

9.2 Substituição dos motores

Os motores originais da fresadora eram motores híbridos de 0,25 Nm de torque, o que não potencializavam as capacidades da fresadora. Havendo a necessidade da substituição de um motor, foi decidido, sob conselho do orientador, a substituição de todos os motores por motores Wantai, modelo 42BYGHW811, que apresenta um torque de 0,48 N conforme descrito no título 6.3. Para a instalação dos motores foi necessária a redução do fuso 8mm e o acrescento de duas porcas em cada espaçador de fixação para permitir a correta fixação do motor conforme se pode verificar na Figura 9.2.2.

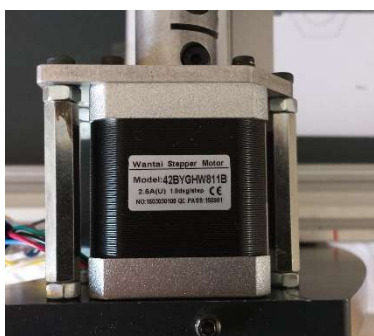


Figura 9.2.2 – Motor Wantai montado no eixo X.

10 CONFIGURAÇÃO E VERIFICAÇÃO

O *software* EdingCNC possui uma página de configuração que permite o ajuste dos passos em função da subdivisão dos passos (*micro-step*) do drive de controlo do motor de cada eixo específico. Para determinar quantos passos por milímetro (Sm) é preciso dividir número de passos por volta do motor (200) multiplicado pela configuração de subdivisão dos passos (S) pelo avanço do fuso por volta (A), configurada nos controladores dos motores. A subdivisão avaliada foi a 4, assim:

$$Sm = \frac{200 \cdot S}{A}$$

$$Sm = \frac{200 \cdot 4}{3}$$

$$Sm = 266,666$$

A tabela a seguir mostra os valores a serem configurados na página de *setup* do *software* para cada configuração do controlador dos motores.

Tabela 9.2.1 – Número de passos por milímetro para cada configuração do controlador

Avanço por volta (mm)		3					
Passos por volta do motor		200					
Divisão dos passos							
1	2	4	8	16	32	64	128
66.67	133.33	266.67	533.33	1066.67	2133.33	4266.67	8533.33

(Erro!
Utilize o
separador
Base para
aplicar
Título 2
ao texto
que
pretende
que
apareça
aqui..1)

10.1 1ª Página de configuração

A página de *setup* apresenta uma coluna (*steps/AppUnit*) para ser colocado o valor dos passos por milímetro, para cada eixo, conforme se verifica na figura a seguir.

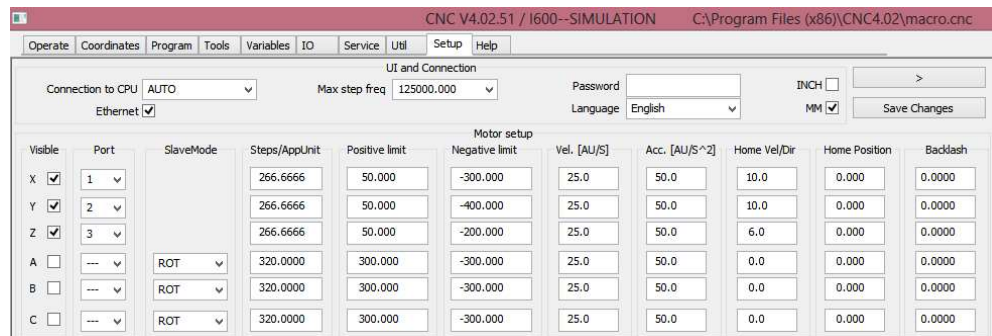


Figura 10.1.1 – Página de configuração (*setup*), EdingCNC.

As colunas *positive limit* e *negative limit*, permitem configurar os limites de deslocação de cada eixo. A coluna *vel.* determina a velocidade em mm/s. A coluna *Acc.* configura a aceleração, se o valor for o dobro da velocidade significa que o eixo demorará meio segundo para atingir a velocidade máxima, se o valor for o triplo da velocidade significa que o eixo levará um terço de um segundo para atingir a velocidade máxima e assim relativamente a outros valores atribuídos. A coluna *home vel/dir* permite determinar a velocidade e a direção do eixo durante o retorno ao ponto zero da máquina.

10.2 2ª Página de configuração

Na segunda página, apresentada na Figura 10.1.1, existem a possibilidade de ativação e desativação de vários recursos como a também a inversão do sentido dos eixos. Na coluna *Inver IO* pode-se ativar ferramentas, entradas, saídas. O recurso *Amp Enable* permite a ativação do *Enable* do controlador com 5v, e o recurso *Pause* permite a ligação do sistema sem um botão de pausa ativo em alguma entrada.

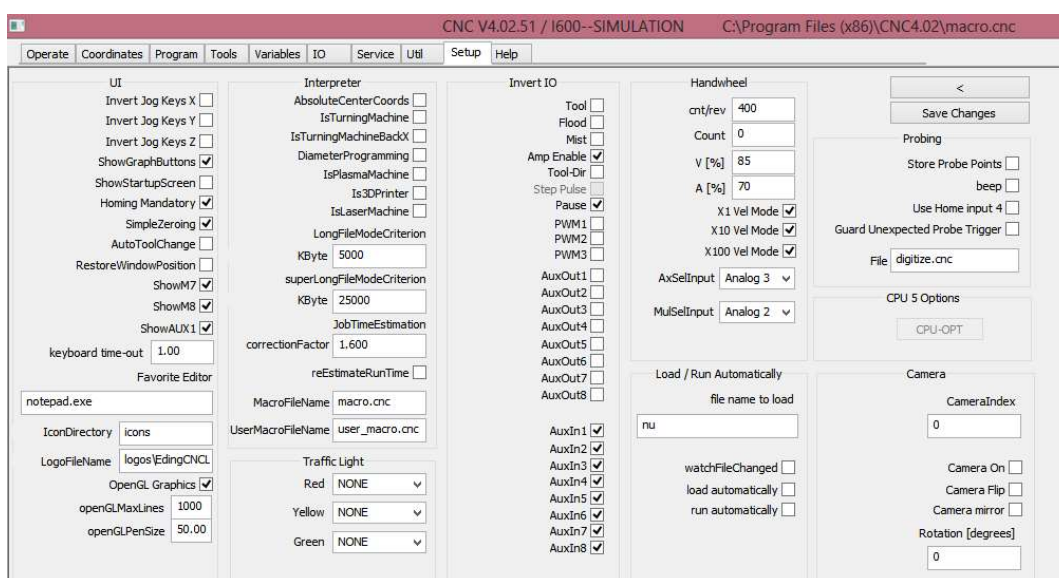


Figura 10.2.1 – 2ª página de configuração (setup), EdingCNC.

A coluna *Handwheel* permite a configuração das velocidades ativas, das portas analógicas onde será ligado o *pendant*. Em *V* é possível configurar a percentagem da velocidade máxima no *pendant*, e em *A* é possível configurar a percentagem da aceleração máxima a ser aplicada ao *pendant*.

11 CONCLUSÃO

A fresadora CNC atingiu os resultados esperados na promoção de um ambiente didático, pois além de introduzir uma nova ferramenta de aprendizado aos alunos, permitiu uma interação entre o ensino teórico e prático da tecnologia de comando numérico.

O processo de desenvolvimento da máquina também alcançou o esperado na integração de uma estrutura mecânica com um sistema eletrônico e um programa de controlo. Diante da realidade financeira atual a alteração de objetivos para o reaproveitamento da mecânica já existente poupou custos. Também, permitiu a análise das falhas existentes em projetos de máquinas já disponíveis no mercado, como por exemplo a mecânica fresadora Colimbus, que apresenta uma fixação do suporte do motor de fresagem muito elevada, o que compromete a rigidez do sistema e sugere uma alteração na posição de fixação mais próxima do ponto de esforço, que é a braçadeira do motor. Isso permitiria ganhar um pouco mais de rigidez na estrutura e uma maior precisão. É necessário salientar que o objetivo do projeto não foi um estudo da mecânica estrutural mas sim a aplicação de conhecimentos adquiridos durante o curso na construção de uma ferramenta prática, que poderá ser usada por outros alunos, e neste aspeto, o projeto atendeu plenamente o seu objetivo.

Durante o processo de ensaio da CPU foram utilizados componentes disponíveis no laboratório, alguns apresentavam defeitos e outros eram sobre dimensionados para as exigências do projeto, no entanto, esse processo permitiu a aquisição de conhecimentos práticos de manutenção eletrónica e a absorção de uma pequena parte da experiência do orientador do projeto, e esse fato foi extremamente enriquecedor em termos didáticos.

Os motores de passo foram corretamente acionados pelas controladoras de potência e fielmente controlados pelo programa EdingCNC, não existindo perdas de passos significativas. Para grandes acelerações, o seu funcionamento demonstrou-se um pouco comprometido uma vez que os fusos, mesmo depois de recuperados, apresentam pequenos empenos que criam um maior atrito em determinados pontos dos eixos X e Y, toda via em acelerações razoáveis o mecanismo trabalhou satisfatoriamente.

Um fato importante constatado na realização do trabalho foi o empenho na montagem do comando eletrônico que demonstrou uma necessidade de conhecimento e experiência na adaptação de componentes de comando CNC, esse fato foi amenizado pelo constante apoio do professor orientador do projeto que, sempre que surgiu dúvidas, se

disponibilizou a ajudar a encontrar a solução. A utilização do software revelou que é necessário mais prática para dominar melhor os seus recursos.

Por fim, foi muito enriquecedor a construção do circuito de adaptação do *pendant* pois permitiu a utilização do *software* Proteus para simular o circuito. Toda via, o desenho da placa do circuito no SolidWorks não foi satisfatória, uma vez que existem *softwares* especializados que facilitam muito esse processo. Essa dificuldade deve-se ao fato de que criar as linhas de ligação de um circuito exige um raciocínio em espelho e as ligações ficam dificultada pela construção adequada de linhas, com espessuras corretas e aproveitamento de espaço, revelando a inexperiência do aluno em pequenos erros no circuito, que foram corrigidas sem a necessidade da construção de uma nova placa.

No prosseguimento do projeto deverá ser realizado um quadro definitivo pois a mesa onde estão fixados e montados os componentes, que era à princípio provisória, tornou-se efetiva pela falta de tempo para a montagem de um quadro de comando definitivo.

12 Referências

1. COSTA, E. . S. **Processo de Usinagem**. Divinópolis MG: UFMG, 2006.
2. MACHADO, A. **Comando Numérico Aplicado a Máquina Ferramenta**. 1ª. ed. [S.l.]: Cone, 1986.
3. BETIOL; G, W. E. Controle de Acionamento por Motores de Passo Aplicados a Impressoras Matriciais, Curitiba, p. 145, 1989.
4. DOMINGOS; R., W. Conceitos de motores de passo. **Mecatrônica fácil**, São Paulo, n. 38, p. 48, Abril 2009.
5. PARKER HANNIFIN IND. COM LTDA. Tecnologia Eletromecânica. **Parker Automation**, Jacareí - São Paulo, p. 60, 2003.
6. ELSINGN. ELSIGN Moving ideas. Disponível em: <<http://www.elsign-cnc.pt/fresadoras-cnc/easyworker-master/master-1812.html>>. Acesso em: 22 janeiro 2016.
7. AKAYPAK, M. W. T. AKAYPAK Metal working technologies, 2016. Disponível em: <http://www.akyapak.com.tr/en/product__49.html>.
8. HIWIN. **Guias Lineres de esferas**. [S.l.]: TECNOPOWER, 2016. Disponível em: <www.tecnopower.es>.
9. EDINGCNC. Eding CNC. **PC Based CNC Contol**, 2016. Disponível em: <<http://www.edingcnc.com/index.php>>. Acesso em: 17 Janeiro 2016.
10. SHIGLEY; BUDINAS, R.; KEITH NISBETT, J. **Elementos de Máquinas de Shigley**. 8ª. ed. Porto Alegre: McGrawHill, 2011. ISBN ISBN 978-85-63308-20-7.
11. SHIGLEY, J.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
12. MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**. 9ª. ed. São Paulo: Érica, 2008.
13. NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas - Uma abordagem integrada**. 2ª. ed. São Paulo: Artmed, 2000.

14. MARKETMASTER. Marker Master. Disponível em:
<<http://www.makermasters.com/inexpensive-cnc-router-tables-wont-break-budget>>.
Acesso em: 22 janeiro 2016.
15. MARTINS, M. D. S. msm.no.sapo.pt/stepper/stepper.html. Disponível em:
<<http://msm.no.sapo.pt/stepper/stepper.html>>. Acesso em: 05 Junho 2016.
16. SILVA, E. **Motores eléctricos.** Disponível em:
<<http://eduvisilva.com.sapo.pt/melectricos.htm>>. Acesso em: 05 Junho 2016.
17. GALDINO, L. Cálculo da Rotação, do Torque e da Potência de Motores Elétricos para Transmissão por Parafusos de Potência. **ENIAC**, Guarulhos, 2010.
18. EDINGCNC. EDING CNC. **Eding CNC B.V.** Disponível em:
<<http://www.edingcnc.com/upload/files/CPU5Configurator.pdf>>. Acesso em: 05 Julho 2016.

ANEXOS